

Bachelor-Thesis

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Engineering“
im Studiengang Mechatronik plus an der Hochschule Offenburg

„Entwicklung und Realisierung eines Motoren-Bremsprüfstands zu Ausbildungszwecken im Bereich der Mess- und Steuerungstechnik“

Verfasser: Manuel Krämer

Studiengang: Mechatronik^{plus}

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß
Philipp Ringwald, M.Sc.

Firmenname: AUMA Riester GmbH & Co. KG

Zeitraum: WS2017/18 01.11.2017 bis 28.02.2018

Kurzfassung

Die vorliegende Bachelor-Thesis ist bei der Firma AUMA in Müllheim in der Abteilung *Testing* entstanden.

Diese Arbeit ist in zwei Teile unterteilt. Im ersten Teil wird näher auf den Entwurf eines Motorenprüfstands und dessen Realisierung eingegangen, während sich der zweite Teil damit befasst, wie dieser für die Ausbildung – und die Einarbeitung in Mess- und Steuerungstechnik – von Auszubildenden genutzt werden soll. In diesem Versuchsaufbau wird vorrangig ein Gleichstrommotor getestet.

Die Begründung für die Erstellung eines Motoren-Bremsprüfstands liegt darin, dass es eine der Hauptaufgaben der Abteilung *Testing* ist, in Labor-Prüfeinrichtungen Antriebe der AUMA Gruppe zu testen. Diese Prüfeinrichtungen arbeiten in der Regel mit gefährlichen Spannungen und dürfen nur von Fachkräften in Betrieb genommen werden. In Zukunft sollen Auszubildende im Zuge einer praxisnahen und handlungsorientierten Ausbildung die Möglichkeit haben, sich selbstständig in die Bereiche der Mess- und Steuerungstechnik einzuarbeiten.

Mit dem realisierten Motoren-Bremsprüfstand ist es in der Abteilung *Testing* möglich, in Zukunft Auszubildende ressourcenschonend und in einem gefahrenfreien Umfeld in die Aufgaben der Abteilung *Testing* einzuarbeiten. Somit reduziert sich die benötigte Einarbeitungszeit, in der ein Mitarbeiter die Auszubildenden betreuen muss. Mit dem gebauten Prüfstand können Auszubildende die Charakteristik eines Gleichstrommotors verstehen und die Messmethoden, zur Erfassung von Drehmoment, Drehwinkel, Temperatur, sowie elektrische Größen, anwenden. Diese Erkenntnisse lassen sich optimal auf größere Prüfstände übertragen und bereiten die Auszubildenden auf spätere Aufgaben im Unternehmen AUMA und der Abteilung *Testing* vor.

Vorwort

Die vorliegende Bachelorarbeit wurde im Zeitraum von Oktober 2017 bis einschließlich Februar 2018 in der Firma AUMA Riester GmbH & Co. KG in Müllheim erstellt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß sowie Herrn Philipp Ringwald, M.Sc. für die Betreuung der Abschlussarbeit. Des Weiteren gilt mein Dank allen weiteren Mitarbeitern aus der Abteilung *Testing*, welche mich bei meiner Abschlussarbeit unterstützt haben.

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass die vorliegende Bachelor-Thesis von mir selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt worden ist. Insbesondere versichere ich, dass ich alle Stellen, die wörtlich, annähernd wörtlich oder dem Gedanken nach aus Veröffentlichungen, unveröffentlichten Unterlagen und Gesprächen entnommen worden sind, als solche an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit durch Zitate kenntlich gemacht habe, wobei in den Zitaten jeweils der Umfang der entnommenen Originalzitate kenntlich gemacht wurde. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Versicherung rechtliche Folgen haben wird.

Müllheim, Februar 2018

Manuel Krämer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Vorstellung der Firma	8
1.1 AUMA Gruppe	8
1.2 Abteilungen	8
1.3 Abteilung Testing	9
1.4 Produkte der Firma	9
2 Einleitung – Aufgabenstellung	10
3 Anforderungen	12
3.1 Anforderungen an den Prüfstand	12
3.2 Anforderungen an den Motor	12
3.3 Anforderungen an die Bremse	13
3.4 Geforderte Messgrößen	13
3.5 Schutzmaßnahmen	14
3.5.1 Schutzmaßnahmen zur Vermeidung deterministischer Gefahren	14
3.5.2 Schutzmaßnahmen zur Vermeidung stochastischer Gefahren	14
3.6 Versuchsanleitung	15
4 Auswahl der Komponenten	16
4.1 Gleichstrommotor – DOGA	16
4.2 Hysteresebremse – Magtrol	18
4.3 Messeinrichtungen	20
4.3.1 Drehmomentmessung	20
4.3.2 Drehgeber – Kübler	23
4.3.3 Thermoelement	24
4.4 Kupplungen – R+W	24

4.5	Messtechnik – National Instruments	25
5	Entwurf des Motorenprüfstandes	27
5.1	Erste Planungen des Prüfstandes.....	27
5.1.1	Erster Entwurf	27
5.1.2	Zweiter Entwurf	29
5.1.3	Dritter Entwurf	31
5.2	Endgültige geplante Version des Prüfstandes.....	33
5.2.1	Aufnahme des Motors (Prüfling)	35
5.2.2	Lagerung / Halterung der Bremse	36
5.2.3	Drehmomentmessung	38
5.2.4	Aufnahme des Drehgebers	39
5.3	Software zur Ansteuerung des Prüfstands.....	40
5.3.1	Realisierung der Software	40
5.3.2	Bedienung der Software	45
6	Laborversuch	48
6.1	Zielgruppe des Laborversuchs	48
6.1.1	Bezug auf Ausbildungsrahmenplan und Rahmenlehrplan	48
6.2	Ziel des Laborversuchs	50
6.3	Inhalt des Laborversuchs	50
7	Ergebnis.....	53
7.1	Ausblick.....	54
7.2	Persönliches Fazit.....	55
8	Literaturverzeichnis	56
9	Anhang.....	A1

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Ausstellungsbereich der Firma AUMA mit verschiedenen Stellantrieben [1]	8
Abb. 1.2: Aufbau eines Versuchs in der Abteilung <i>Testing</i>	9
Abb. 1.3: AUMA-Schwenkantrieb mit AUMA-Steuerung (ohne Armatur) [1]	10
Abb. 2.1: Schematische Darstellung des Motoren-Bremsprüfstands	11
Abb. 4.1: Gleichstrommotor 162.4102.30.00 der Firma DOGA [3]	16
Abb. 4.2: Kennlinien des DC-Motors nach Datenblatt des Herstellers	17
Abb. 4.3: Schnittansicht der Hysteresebremse HB-250M-2 [6]	19
Abb. 4.4: Controller VM6 der Firma Magtrol GmbH [7]	19
Abb. 4.5: Kraftsensor KD40s $\pm 20\text{N}$ der Firma ME-Meßsysteme GmbH [11]	21
Abb. 4.6: Theoretisches Ausgangssignal des Kraftsensors KD40s $\pm 20\text{N}$	22
Abb. 4.7: Drehgeber 8.3610.3324.0360 der Firma Kübler [12]	23
Abb. 4.8: Schematische Darstellung zum Anschluss der Thermoelemente [13]	24
Abb. 4.9: MK2 Miniaturbalgkupplung (rechts) und SK2 Sicherheitskupplung (links) [14]	25
Abb. 4.10: NI cDAQ-9178 Datenerfassungsplattform mit vier NI-Modulen	25
Abb. 5.1: Erster handgezeichneter Entwurf des Prüfstands PV1710	28
Abb. 5.2: Zweiter mit Microsoft OneNote erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (A)	29
Abb. 5.3: Zweiter mit Microsoft OneNote erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (B)	30
Abb. 5.4: Dritter mit Creo (CAD-Tool) erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (A)	31
Abb. 5.5: Dritter mit Creo (CAD-Tool) erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (B)	32
Abb. 5.6: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Gesamtansicht) mit Leistungselektronik-Box	33
Abb. 5.7: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Gesamtansicht) mit Drehmomentmesswellen	34
Abb. 5.8: Prüfstand PV1710 CAD-Modell (Detailansicht: Aufnahme für den Prüfling)	35
Abb. 5.9: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Detailansicht: Lagerung der Bremse)	36
Abb. 5.10: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Detailansicht: Halterung der Bremse)	37
Abb. 5.11: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Detailansicht: Drehmomentmesswellen)	38
Abb. 5.12: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Detailansicht: Umsetzung der Kraftmessung)	39
Abb. 5.13: Prüfstand PV1710 CAD-Modell (Detailansicht: Aufnahme des Drehgebers)	40
Abb. 5.14: Schematisches Konzept des Consumer-Producer-Modells (Blockdiagramm)	41
Abb. 5.15: Frontpanel des LabVIEW Programms PV1710_Ansteuerung.vi	41
Abb. 5.16: Initialisierungs-Rahmen des Programms PV1710_Ansteuerung.vi	42
Abb. 5.17: Ereignisse der Producer-Schleife des Programms PV1710_Ansteuerung.vi	43
Abb. 5.18: Ereignis: "HW Init" des Programms PV1710_Ansteuerung.vi	44
Abb. 5.19: Schreiben von "Festwert" in Programm PV1710_Ansteuerung.vi	44
Abb. 5.20: Schreiben von "Rampe" in Programm PV1710_Ansteuerung.vi	45

Abb. 5.21: Definition des Kanals im Programm PV1710_Ansteuerung.exe	46
Abb. 5.22: Option zur Entfernung des Rastmoments im Programm PV1710_Ansteuerung.exe.....	46
Abb. 5.23: Beispiel für Eingabewerte im Programm PV1710_Ansteuerung.exe	47
Abb. 5.24: Ausgabe der eingestellten Werte im Programm PV1710_Ansteuerung.exe.....	47
Abb. 6.1: Bildlicher Verdrahtungsplan für den Versuch zur Motorspannungsmessung.....	51
Abb. 7.1: Fertiger zusammengebauter Prüfstand für Auszubildenden.....	53
Abb. 9.1: Rampe erzeugen (Sub VI) in Programm PV1710_Ansteuerung.vi.....	A2
Abb. 9.2: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 1	A3
Abb. 9.3: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 2 (S. 1).....	A4
Abb. 9.4: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 2 (S. 2).....	A5
Abb. 9.5: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 1).....	A6
Abb. 9.6: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 2).....	A7
Abb. 9.7: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 3).....	A8

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Nenndaten des Gleichstrommotors [3]	17
Tab. 2: Kennwerte des Kraftsensors KD40s ± 20 N	22
Tab. 3: NI-Module für PV1710	26
Tab. 4: Marktanalyse zu möglichen Bremsen	A1

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating current (Wechselstrom)
AUMA	Armaturen- und Maschinenantriebe (Firmenname)
CAD	Computer-aided design (rechnerunterstütztes Konstruieren)
DAQ	Data Acquisition
DC	Direct current (Gleichstrom)
DMS	Dehnungsmessstreifen
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
NI	National Instruments (Firmenname)
PC	Personal Computer
PWM	Pulsweitenmodulation
PTC	Parametric Technology (Firmenname)
R&D	Research & Development
TST	Testing
USB	Universal Serial Bus
VI	Virtual Instrument
VIS	Versuchsinformationssystem

1 Vorstellung der Firma

Die Firma AUMA ist ein inhabergeführtes Privatunternehmen, welches seinen Hauptsitz in Müllheim (Baden-Württemberg) hat. Weltweit gibt es 30 Standorte mit insgesamt über 2600 Mitarbeitern. AUMA wurde im Jahre 1964 gegründet und hat sich seitdem zu einem der führenden Hersteller im Bereich der Stellantriebe¹ für Armaturen entwickelt. Der Name der Firma ist eine Abkürzung und bedeutet: „**A**rmaturen- und **M**aschinen-**A**ntriebe“.



Abb. 1.1: Ausstellungsbereich der Firma AUMA mit verschiedenen Stellantrieben [1]

1.1 AUMA Gruppe

Der AUMA-Gruppe gehören des Weiteren die Firmen AUMA DRIVES, SIPOS Aktorik GmbH, AUMA Industry & Marine GmbH und DREHMO GmbH. Bei der Firma AUMA DRIVES hat man sich auf Schneckengetriebe spezialisiert, während die Firmen SIPOS Aktorik GmbH, AUMA Industry & Marine GmbH und DREHMO GmbH elektrische Stellantriebe produzieren und liefern. [1]

1.2 Abteilungen

Die Abteilungen der Firma können grob in die Bereiche *Research & Development*, *Production*, *Sales* und *Managment* untergliedert werden. Am Hauptsitz Müllheim befindet sich die Entwicklung der Firma, außerdem wird hier ein Großteil der Stellantriebe gefertigt und montiert. Weitere Standorte der Produktion außerhalb Deutschlands sind die USA, Indien und China. Des Weiteren gibt es folgende branchenbezogene Divisionen: *Division Drives*, *Division Industry & Marine*, *Division Power*, *Division Oil & Gas*, *Division Water*.

¹ Elektrischer Antrieb zum automatisierten Öffnen/Schließen von Armaturen. Meist in elektrischer, hydraulischer oder pneumatischer Ausführung gebaut.

1.3 Abteilung Testing

Die Abteilung *Testing* (TST), in der diese Arbeit erstellt wurde, gehört zu den R&D Services. Diese besteht aus 15 Mitarbeitern inklusive Abteilungsleiter, unterteilt in die Bereiche Mechanikprüfungen, Umweltsimulation, Elektronik- und Softwaretests.

Die Mitarbeiter der Abteilung arbeiten nicht nur in Büros, sondern auch in einem Prüflabor, in welchem die Produkte auf ihre Lebensdauer, Leistung, etc. getestet werden. Das Prüflabor dient auch zur Vorbereitung der Prüfstände und zum Bau diverser Hilfsmittel für die Laborversuche, in denen die Prüflinge getestet werden.

Die Abteilung *Testing* ist für die Planung, Durchführung und Dokumentation von Versuchen zuständig. Zu den Aufgaben gehören neben Typprüfungen von Produkten auch entwicklungsbegleitende Prüfungen sowie die Qualifikationen und Zulassungen bei Prüfbehörden. Des Weiteren unterstützt die Abteilung TST das Qualitätswesen mit Produktauditprüfungen². Der Ablauf eines Versuchs folgt stets einem bestimmten Schema (siehe Abb. 1.2). Der Versuchsauftrag sowie die Ergebnissicherung werden dabei über eine interne Datenbank namens VIS³ verwaltet. Über dieses Organisationstool können die Mitarbeiter der Firma AUMA *Versuchsanträge* an die Abteilung *Testing* stellen.

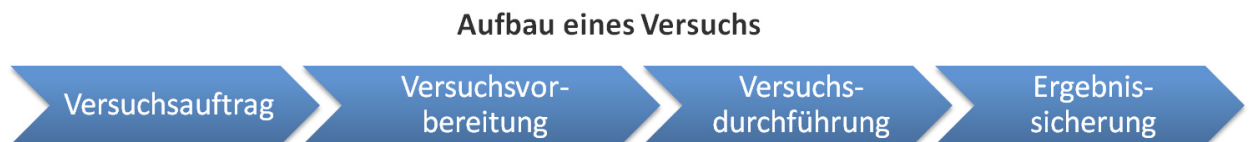


Abb. 1.2: Aufbau eines Versuchs in der Abteilung *Testing*

1.4 Produkte der Firma

AUMA stellt verschiedene Arten von Stellantrieben für die Industrie her, darunter Linearantriebe, Schwenkantriebe, Drehantriebe und Hebelantriebe. Die Stellantriebe (siehe Abb. 1.3) haben meistens die Aufgabe, irgendeine Art von Armatur, wie z.B. Schleusen, Pipeline-Ventile oder Schieber, anzutreiben. Die Armaturen dienen beispielsweise dazu, den Durchfluss in einem Rohr oder einer Pipeline zu regulieren.

² Stichprobentests von fertigen Antrieben, hier wird z.B. auch die Verpackung etc. beurteilt.

³ Interne Datenbank zur Abhandlung und Archivierung von Versuchen.



Abb. 1.3: AUMA-Schwenkantrieb mit AUMA-Steuerung (ohne Armatur) [1]

2 Einleitung – Aufgabenstellung

In diesem Kapitel wird näher auf die Hintergründe und die Aufgabenstellung der vorliegenden Bachelor-Thesis eingegangen. Die Abteilung *Testing* wird regelmäßig von Auszubildenden, Praktikanten oder Studenten verstärkt, die zum Beispiel im Rahmen der dualen Ausbildung bei der Firma AUMA die verschiedenen Abteilungen durchlaufen. In der Abteilung *Testing* werden zum großen Teil Antriebe der AUMA Gruppe getestet, die hohe Drehmomente erzeugen. In den meisten Fällen werden diese mit Drehstrommotoren betrieben, welche mit gefährlichen Spannungen für den Menschen arbeiten.

Um die Auszubildenden selbstständig in die Bereiche der Mess- und Steuerungstechnik – welche in der Abteilung *Testing* Anwendung finden – einzulernen, soll ein Prüfstand entwickelt werden, der die Aufgaben des Prüflabors so realitätsnah wie möglich abbildet. Außerdem soll eine Versuchsanleitung entwickelt werden, die die Auszubildenden durch die Thematik führt und sie für

spätere Arbeiten in der Abteilung *Testing* vorbereitet. Zur meiner Aufgabenstellung werden folgende Punkte explizit spezifiziert:

- Ausarbeitung und Abstimmung eines Motoren-Bremsprüfstandkonzeptes
- Studie und Auswahl der Komponenten
- Einarbeitung in die Messtechnik von National Instruments
- Beschaffung der ausgewählten Komponenten
- Aufbau des Prüfstands
- Ausarbeitung eines Laborversuchs
- Tests und Dokumentation des Prüfstands.

In Abb. 2.1 ist eine erste schematische Darstellung des Motoren-Bremsprüfstands zu sehen. Hierbei stellt der Motor den Prüfling dar, welcher mit einer beliebigen Bremse belastet werden soll. Das resultierende Drehmoment an der Antriebswelle des Motors wird mit Hilfe einer Drehmomentmesswelle gemessen. Die Komponenten des Prüfstands sollen über entsprechende Leitungen mit den Mess- / Steuerungskomponenten verbunden werden. Diese Einheit soll durch ein CompactDAQ-Chassis (genaueres siehe Abschnitt 4.5) realisiert werden, welches über eine USB-Schnittstelle mit einem PC verbunden ist.

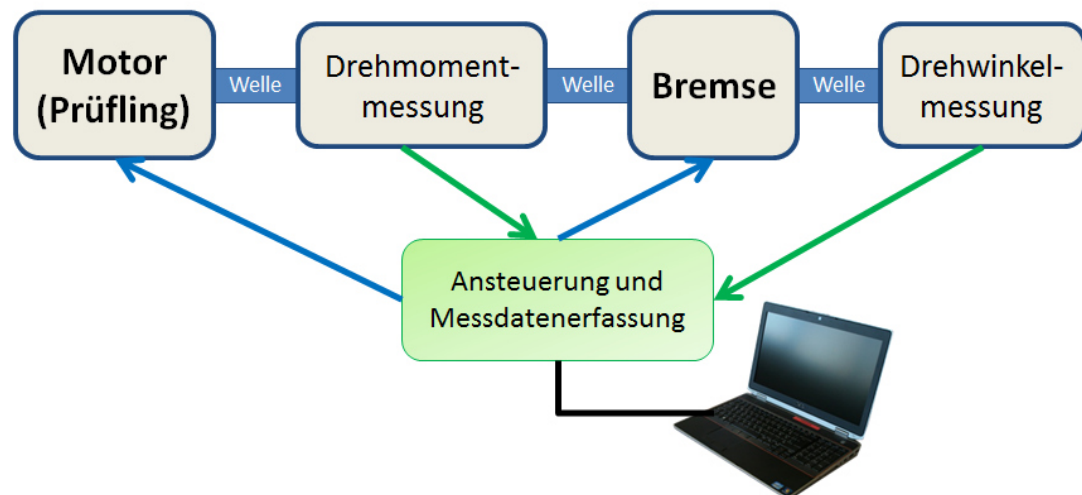


Abb. 2.1: Schematische Darstellung des Motoren-Bremsprüfstands

Dieser prinzipielle Aufbau ist den meisten Prüfständen im Testlabor ähnlich, was einen guten Transfer der Erkenntnisse ermöglichen soll.

3 Anforderungen

In diesem Kapitel wird auf die Anforderungen an den Motoren-Bremsprüfstand näher eingegangen. Hierbei liegt der Fokus auf dem Motoren-Bremsprüfstand selbst. Nähere spezielle Anforderungen an die Versuchsanleitung für Auszubildende werden im Abschnitt 3.6 betrachtet. Aus den Anforderungen, die in diesem Kapitel genannt sind, leiten sich im späteren Verlauf der Bachelor-Thesis die Auswahl der Komponenten ab. Im weiteren Teil dieser Arbeit wird dieser auch als Prüfstand bezeichnet oder spezifischer mit der internen Bezeichnung „PV1710“ betitelt.

3.1 Anforderungen an den Prüfstand

Zu den allgemeinen Anforderungen an den Prüfstand gehören ein portabler und kompakter Aufbau. Um dies zu gewährleisten, soll das Gewicht der modularen Komponenten auf max. 10 kg beschränkt sein. Um den Prüfstand an einem üblichen Arbeitsplatz des Test-Prüflabors bzw. auf einem Schreibtisch im Büro zu betreiben, sollte eine maximal benötigte Stellfläche von 100 cm Länge und 50 cm Breite nicht überschritten werden. Der Prüfstand soll des Weiteren bei Bedarf modular erweitert werden können. Aus diesem Grund sollen alle mechanischen Komponenten von PV1710 auf einem Alu-Profil montiert werden.

Der wirtschaftliche Rahmen dieser Arbeit definiert ein Budget von 3000 €, welches für Kaufteile zur Verfügung steht, die für den Prüfstand beschafft werden müssen.

3.2 Anforderungen an den Motor

An den Motor – den Prüfling des Prüfstands – sind einige grundlegende Anforderungen gestellt, die die Auswahl eines geeigneten Prüflings einschränken. Der Motor soll im späteren Aufbau drehzahlgesteuert betrieben werden. Außerdem soll ein Motor mit möglichst geringen Abmaßen gewählt werden, um die weiteren Komponenten ebenfalls kompakt zu halten. Aus Sicherheitsgründen soll eine Betriebsspannung von max. 25 V Wechselspannung (AC) oder 60 V Gleichspannung (DC) nicht überschritten werden. Das maximal erzeugbare Drehmoment $M_{\text{Motor,max}}$ des Motors sollte nicht über 1 Nm liegen und eine mechanische Leistung P_{mech} von 100 W nicht überschreiten. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte der Motor im Schadensfall schnell verfügbar, bzw. gut wiederbeschaffbar sein. Außerdem sollten die Ansteuerung sowie die Funktion des Motors leicht verständlich und für Auszubildende gut nachvollziehbar sein.

3.3 Anforderungen an die Bremse

Die Bremse soll den Prüfling drehzahlunabhängig mit einem beliebigen Bremsmoment M_{Brems} belasten können. Dieses muss linear regelbar sein, um die Bremse mit einem Analogausgangsmodul (siehe Abschnitt 4.4) ansteuern zu können. Des Weiteren ist zu beachten, dass das maximal zu erzeugende Bremsmoment $M_{\text{Brems,max}}$ größer als das maximale Antriebsmoment $M_{\text{Motor,max}}$ des Motors ist. Weitere Anforderungen an die Bremse sind: geringer Verschleiß, gute Wiederholgenauigkeit sowie gute und einfache Ansteuerung. Außerdem sollte die Bremse ohne zusätzliche Leistungselektronik bzw. externe Kühlung die mechanische Leistung P_{mech} des Motors aufnehmen können. Eine Rückspeisung der mechanischen Leistung P_{mech} ins Netz, ist aufgrund der geringen Leistung nicht sinnvoll.

3.4 Geforderte Messgrößen

Zu den geforderten Messgrößen, die mit Hilfe des Prüfstands gemessen werden sollen, gehören:

- Drehmoment des Motors M_{Motor}
- Drehwinkel des Motors φ_{Motor}
- Oberflächentemperatur des Motors ϑ_{Motor}
- Oberflächentemperatur der Bremse $\vartheta_{\text{Bremse}}$
- Umgebungstemperatur ϑ_{Raum}
- Betriebsspannung des Motors U_{Motor}
- Motorstrom I_{Motor}

Aus den gemessenen Messgrößen ist es dann möglich, folgende Rechengrößen zu ermitteln:

- Drehzahl des Motors n_{Motor}
- Abgegebene mechanische Leistung des Motors $P_{\text{ab,mech}}$
- Aufgenommene elektrische Leistung des Motors $P_{\text{auf,el}}$
- Wirkungsgrad des Motors μ_{Motor}

3.5 Schutzmaßnahmen

Die geforderten Schutzmaßnahmen, die zu treffen sind, um einen möglichst gefahrfreien Betrieb zu gewährleisten, lassen sich auf drei Gefahrenbereiche aufteilen: Elektrische, thermische und kinetische Gefahren. Bei den möglichen Gefahren, die entstehen können, muss man zwischen deterministischen und stochastischen Gefahren unterscheiden.

3.5.1 Schutzmaßnahmen zur Vermeidung deterministischer Gefahren

Die deterministischen Gefahren können auf den Aufbau des Prüfstands zurückgeführt werden und gefährden die Nutzer über die komplette Lebensdauer des Prüfstands. Hierzu gehören die Gefahren eines elektrischen Schlages bei hohen Spannungen, Verbrennung bei Kontakt mit überhitzenden Teilen oder durch sich drehende Teile (z.B. Antriebswelle des Motors). Zur Eliminierung dieser Fehler, werden drei Methoden der Sicherheitstechnik angewendet.

Die *unmittelbare Sicherheitstechnik*, die *mittelbare Sicherheitstechnik* und die *hinweisende Sicherheitstechnik*. Im Zuge der *unmittelbaren Sicherheitstechnik* werden mögliche Gefahren durch die Konstruktion vermieden. Beispiele hierfür sind die Wahl der Arbeitsspannung der Prüfstandskomponenten (24 V DC) bzw. die Wahl des maximalen Drehmoments $M_{\text{Motor,max}}$ des Prüflings. Unter der *mittelbaren Sicherheitstechnik* versteht man das Absichern einer Gefahr, falls das Vermeiden nicht möglich ist. Dies ist zum Beispiel bei der Versorgung des Prüfstands der Fall, wenn dieser mit einer 230 V Netzversorgung betrieben werden soll. Um den Anwender vor den hohen Spannungen zu schützen, werden Netzteile in einer geschlossenen Leistungselektronik-Box montiert. Die *hinweisende Sicherheitstechnik* wird eingesetzt, wenn eine Gefahr weder eliminiert noch vor ihr geschützt werden kann. Zum Beispiel die Gefahr des Einklemmens von Körperteilen unter dem Prüfstand. In diesem Fall wird auf die Gefahr durch Warnungen hingewiesen [2].

3.5.2 Schutzmaßnahmen zur Vermeidung stochastischer Gefahren

Stochastische Gefahren sind von Bauteilversagen verursacht und treten in der Regel zufällig auf. Hierzu gehören das mechanische Versagen von Wellen, Kupplungen, Lagern sowie ein elektrischer Defekt einer Komponente von PV1710. Diese Fehler lassen sich wie folgt beherrschen: Das mechanische Versagen wird verhindert durch das Prinzip des sicheren Bestehens. Das heißt, alle mechanisch beanspruchten Bauteile werden überdimensioniert konstruiert / ausgewählt bzw. nicht in Überlast betrieben. Um dies zu gewährleisten ist eine Sicherheitszahl > 2 stets einzuhalten.

ten. Im Falle eines elektrischen Defekts kommt das Prinzip des beschränkten Versagens zum Tragen, d. h. alle elektrisch leitenden Bauteile des Motoren-Bremsprüfstandes werden mit einem Schutzleiter geerdet und der Netzanschluss mit einer Geräteschutzsicherung ausgestattet [2].

3.6 Versuchsanleitung

Die Versuchsanleitung zur Einarbeitung der Auszubildenden sollte so ausformuliert sein, dass die Durchführung des Laborversuchs von den Auszubildenden selbstständig vorgenommen werden kann. Außerdem sollte die Versuchsanleitung eine geeignete Literaturlauswahl beinhalten, über die sich die Auszubildenden über den Versuch hinaus mit dem Thema vertiefend befassen können. Hauptbestandteile des Laborversuchs sollen die Ansteuerungs- und Messfunktionen von NI-DAQ-Modulen⁴ sein sowie die Funktion des Motors.

Die Problemstellung des Versuchs soll so realistisch wie möglich sein, deshalb wird ein *Versuchsantrag* erstellt. Dieser kann vom betreuenden Mitarbeiter für die jeweiligen Auszubildenden als Kopie ins VIS Portal geladen werden. Von dort können die Lernenden ihren Versuchsauftrag herunterladen und später die Ergebnisse des Versuchs hochladen.

Den Auszubildenden soll zusätzlich eine Vorlage bereitgestellt werden, in die die Ergebnisse des Versuchs eingefügt werden können. Das Verwenden einer Vorlage ermöglicht es, die Ergebnisse einheitlich zu dokumentieren und gegebenenfalls zwischen den Auszubildenden zu vergleichen. Außerdem entspricht es der üblichen Arbeitsweise – in der Abteilung *Testing* – die Versuchsergebnisse in standardisierten Vorlagen zu dokumentieren.

⁴ Elektrische Messgeräte der Firma National Instruments.

4 Auswahl der Komponenten

In diesem Kapitel werden die Komponenten des Prüfstands PV1710 vorgestellt, die anhand der Kriterien von Kapitel 3 ausgewählt wurden. Der Auswahl und Beschaffung der einzelnen Bauteile ging eine Marktanalyse voraus, die sich besonders mit den verschiedenen Motor- und Bremstypen beschäftigte. Außerdem wurden die verschiedenen Möglichkeiten der Drehmomentmessung näher untersucht (siehe Abschnitt 4.3.1). Die Ergebnisse dieser Marktanalyse wurden abteilungsintern vorgestellt (siehe Tab. 4 im Anhang).

4.1 Gleichstrommotor – DOGA

Als Prüfling des Motoren-Bremsprüfstandes wird ein Gleichstrommotor der Firma DOGA⁵ ausgewählt. Dieser ist als permanenterregte Gleichstrommaschine ausgeführt. Daraus folgen einige Vorteile: kompakte und leichte Bauweise sowie einfache Ansteuerung. Der DC-Motor hat die Referenznummer 162.4102.30.00 und ist in Abb. 4.1 zu sehen.

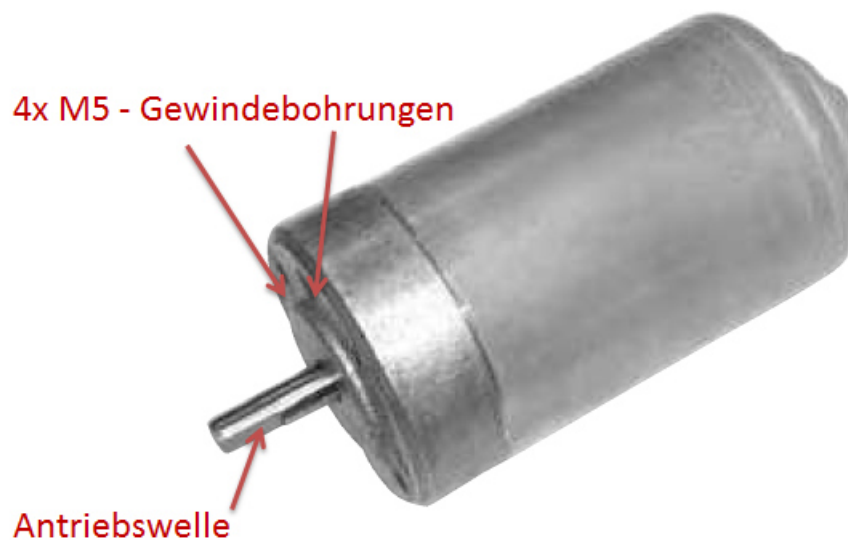


Abb. 4.1: Gleichstrommotor 162.4102.30.00 der Firma DOGA [3]

In Tab. 1 sind die Nenndaten des Gleichstrommotors 162.4102.30.00 dargestellt. Alle Werte sind dabei aus dem Datenblatt des Herstellers entnommen. Mit der Nennspannung $U_{\text{Motor,n}} 24 \text{ V}$, ist die sicherheitsrelevante Anforderung erfüllt ist. Außerdem enthält das Datenblatt des Herstellers ein Diagramm mit verschiedenen Kennlinien (siehe auch Abb. 4.2) [3].

⁵ Spanischer Hersteller von kleinen elektrischen Motoren.

Tab. 1: Nenndaten des Gleichstrommotors [3]

$U_{\text{Motor,n}}$	$I_{\text{Motor,n}}$	$M_{\text{Motor,n}}$	$n_{\text{Motor,n}}$
24 V	3 A	0,2 N m	2000 min ⁻¹

$U_{\text{Motor,n}}$: Nennspannung des Motors

$I_{\text{Motor,n}}$: Nennstrom des Motors

$M_{\text{Motor,n}}$: Nenndrehmoment des Motors

$n_{\text{Motor,n}}$: Nenndrehzahl des Motors

Kennlinien des DC-Motors nach Datenblatt des Herstellers

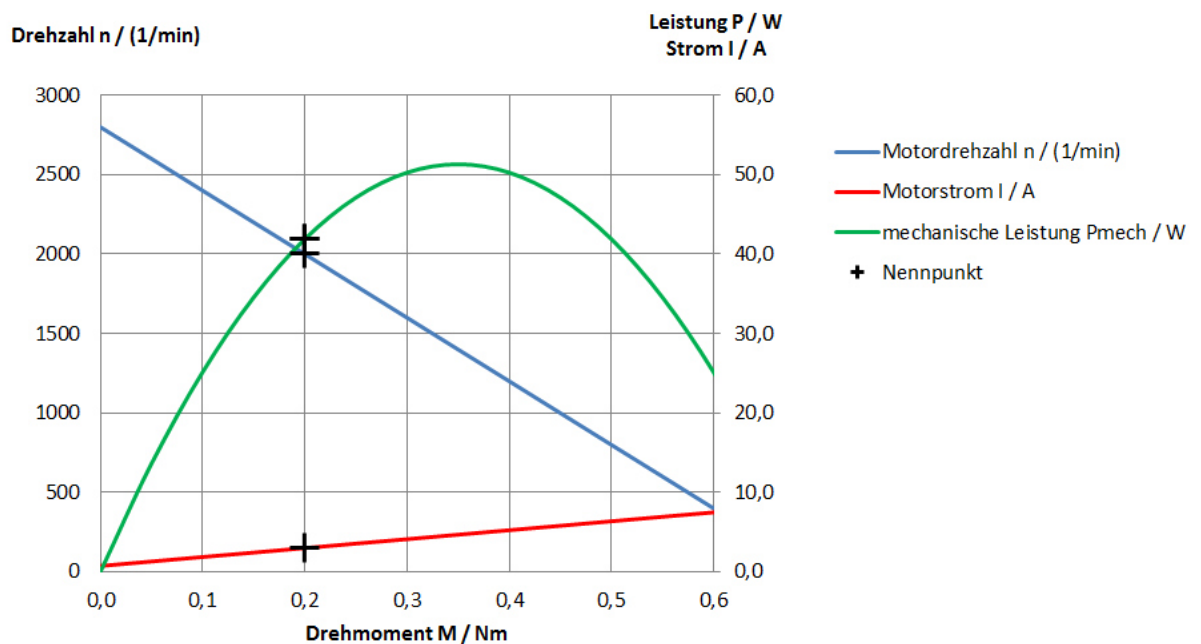


Abb. 4.2: Kennlinien des DC-Motors nach Datenblatt des Herstellers

Der Prüfling besitzt ein Gewicht von 1,1 kg sowie eine Gesamtlänge l_{Motor} von ca. 140 mm. Das Antriebsmoment wird über eine Antriebswelle mit dem Durchmesser $d_{\text{Motor,W}}$ von 8 mm und einer Länge $l_{\text{Motor,W}}$ von 22 mm übertragen. Zur Montage des Motors stehen vier M5-Gewindebohrungen an der Vorderseite des Prüflings zur Verfügung. [3].

Zur Steuerung des Prüflings wird der Drehzahlsteller „GS24S/10/M/DW 10 A 24 V/DC“ der Firma EPH Elektronik eingesetzt, welcher einen maximalen Motorstrom von 10 A unterstützt. Der Drehzahlsteller ermöglicht eine variable Drehzahlstellung über ein internes Potentiometer oder über ein externes Steuersignal von 0 V bis 10 V. Versorgt wird der Drehzahlsteller von einer primär getakteten Stromversorgung der Firma WAGO. Der Name des Netzteils ist „EPSITRON® ECO Power 787-1732“. Dieses besitzt einen einstellbaren Ausgangsspannungsbereich von 22 V bis 26 V. Der Drehzahlsteller sowie das Netzteil sind für die Montage auf einer Hut-schiene geeignet und können deshalb gut in der Leistungselektronik-Box installiert werden [4,5].

4.2 Hysteresebremse – Magtrol

Zur Auswahl der geeigneten Bremse musste zuerst festgelegt werden, welche Art von Bremse die Anforderungen in Bezug auf den Prüfstand PV1710 am besten erfüllt. Nach der Entscheidung, einen Gleichstrommotor als Prüfling zu wählen, kommt eine Wirbelstrombremse nicht in Frage, da diese ihr Bremsmoment erst bei hohen Drehzahlen entwickelt. Die mechanische Scheibenbremse stellt sich wegen des hohen Verschleißes als ungeeignet dar. Außerdem ist eine Regelung des Moments nur über eine (separate) wartungsintensive Hydraulik bzw. Pneumatik realisierbar. Wie bereits in Abschnitt 3.3 erwähnt, ist eine passive Bremse⁶ ausreichend.

In der Abteilung *Testing* werden Magnetpulverbremsten und Hysteresebremsten eingesetzt. Beide Typen von Bremsen lassen sich elektrisch regeln und erzeugen ein drehzahlunabhängiges Bremsmoment. Im gegebenen Drehmomentbereich des Prüfstands weisen jedoch handelsübliche Magnetpulverbremsten ein relativ hohes Restmoment⁷ auf. Außerdem eignet sich die Hysteresebremse aufgrund des geringen Verschleißes und der niedrigeren Anschaffungskosten am besten für den PV1710.

In Abb. 4.3 ist die Hysteresebremse HB-250M-2 vom Hersteller Magtrol GmbH abgebildet. Der Rotor besteht aus einem Hysteresewerkstoff, der sich beim stromlosen Zustand der Bremse frei drehen kann. Schließt man eine Gleichstromquelle an die Erregerspule an, entsteht im Luftspalt ein Magnetfeld. Durch dieses Magnetfeld wird der Rotor ständig ummagnetisiert, was ein Bremsmoment erzeugt. Wird die Welle der Hysteresebremse längere Zeit nicht bewegt oder sprunghaft ausgeschaltet, entsteht ein Rastmoment. Dieses kann im Betrieb durch langsames Absenken des Erregerstroms der Bremse I_{Bremse} wieder beseitigt werden [6].

⁶ Bremse, die kinetische Energie nur aufnehmen kann.

⁷ Moment, welches im unbestromten Zustand anliegt.

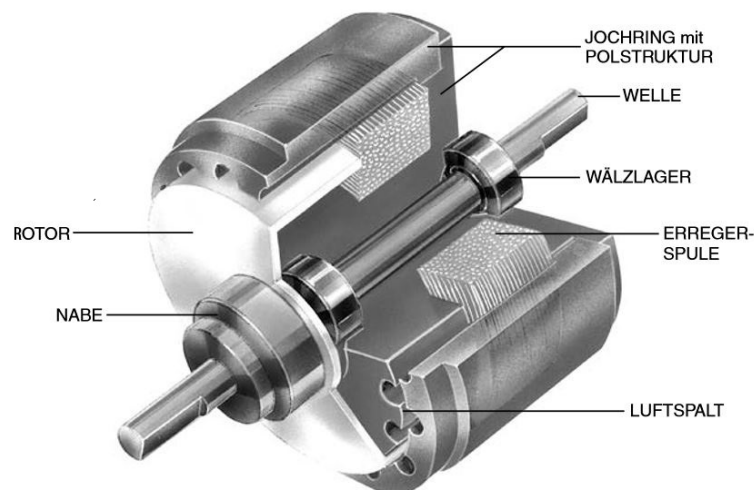


Abb. 4.3: Schnittansicht der Hysteresebremse HB-250M-2 [6]

Die HB-250M-2 kann ein garantiertes maximales Bremsmoment $M_{\text{Brems,max}}$ von 1,75 Nm erzeugen und dabei dauerhaft eine mechanische Leistung P_{mech} von 110 W aufnehmen. Über eine Belastungszeit von 5 Minuten ist auch die vierfache Leistung zulässig. Für diesen Arbeitspunkt benötigt die Hysteresebremse eine Versorgungsspannung U_{Brems} von 25,9 V und einen Erregerstrom I_{Brems} von 270 mA [6].

Zur Ansteuerung der Bremse wird der Controller VM6 vom selben Hersteller eingesetzt (siehe Abb. 4.4). Dieser erlaubt eine konstante Stromregelung über ein Stellsignal von 0 V bis 10 V. Der Controller muss über eine Gleichspannungsquelle versorgt werden, die eine Spannung von 28 V sowie einen Ausgangsstrom von mindestens 350 mA abgeben kann. Hier wurde eine primär getaktete Stromversorgung der Firma WAGO gewählt. Der Name des Netzteils ist „EPSITRON® CLASSIC Power 787-602“. Dieses besitzt einen einstellbaren Ausgangsspannungsbereich von 22 V bis 28,8 V. Der Controller sowie das Netzteil sind für die Montage auf einer Hutschiene geeignet und können deshalb gut in der Leistungselektronik-Box installiert werden [7,8].



Abb. 4.4: Controller VM6 der Firma Magtrol GmbH [7]

4.3 Messeinrichtungen

In diesem Abschnitt wird näher auf die Möglichkeiten der Messwertermittlung eingegangen. Es sollen dabei vorrangig die Hardwarekomponenten beschrieben werden, die zur Messung der geforderten mechanischen Kennwerte erforderlich sind. Des Weiteren wird die Messung der Temperaturen genauer erläutert.

4.3.1 Drehmomentmessung

In der Abteilung *Testing* der Firma AUMA werden zur Ermittlung des Drehmoments vorwiegend zwei unterschiedliche Methoden eingesetzt. Die erste Methode ist die Messung des Drehmoments mittels einer Drehmomentmesswelle – in dieser Arbeit auch die „direkte“ Methode genannt. Bei dieser Art der Drehmomentmessung wird mit Hilfe des DMS-Prinzips die Verdrehung der Messwelle gemessen, woraus sich ein resultierendes Drehmoment berechnen lässt. Die zweite Methode – hier auch „indirekte“ Methode genannt – ist die Ermittlung des Drehmoments über einen Hebelarm, der an der pendelnd gelagerten Bremse montiert ist und sich über einen Kraftsensor abstützt. Um beide Messmethoden kennen zu lernen, wird der Prüfstand so konfiguriert, dass das Drehmoment entweder direkt oder indirekt gemessen werden kann.

4.3.1.1 Drehmomentmesswelle – Lorenz / Kistler

Zur direkten Messung des Drehmoments werden in der Abteilung *Testing* Drehmomentmesswellen der Firma LORENZ MESSTECHNIK GmbH sowie von der Firma Kistler Holding AG eingesetzt. Der geforderte Messbereich für das zu messende Drehmoment liegt bei 2 Nm, somit ergibt sich gegen Messabweichung (aufgrund von Überschreiten des Messbereichs) folgende Sicherheit:

$$S_{M,mess} = \frac{M_{\text{Messbereich}}}{M_{\text{Motor,max}}} = \frac{2 \text{ N m}}{1 \text{ N m}} = 2 \quad (\text{Gl. 4.1})$$

$S_{M,mess}$: Messsicherheit des Drehmoments

$M_{\text{Messbereich}}$: Messbereich des Drehmoments

$M_{\text{Motor,max}}$: Maximales Drehmoment des Motors

Diese Sicherheit ermöglicht es auch, andere Motoren zu testen, die ein höheres Drehmoment als der aktuelle Prüfling erzeugen können.

Aufgrund der hohen Beschaffungskosten einer Drehmomentmesswelle werden von beiden Herstellern ähnliche Messwellen ausgewählt, die im PV1710 eingesetzt werden können: die 4502A002RA der Firma Kistler und die DR-2112 der Firma Lorenz. Beide Messwellen bieten die Option einer integrierten Drehzahlmessung sowie einen Analogausgangswert von bis zu 10 V. Die finale Entscheidung, welche Drehmomentmesswelle beschafft werden soll, wird im Rahmen eines anderen Projekts getroffen, um das Budget der Thesis nicht zu überschreiten [9,10].

4.3.1.2 Kraftsensor – ME-Meßsysteme

Die indirekte Methode der Drehmomentmessung hat einige Vor- und Nachteile. Zu den Nachteilen der Methode gehört die Anzahl an benötigten Komponenten. Es werden Lager benötigt, um die Bremse pendelnd zu lagern sowie einen Hebelarm zur Kraftübertragung und Kupplungselemente, um die Kraft zentrisch in den Sensor einzuleiten.

Jedoch überwiegen die folgenden Vorteile der indirekten Methode. Die Nutzung eines Hebelarms und eines Kraftsensors ermöglicht es den Auszubildenden, den Zusammenhang zwischen Hebelarm r , Kraft F und Drehmoment M zu verstehen. Außerdem sind die Anschaffungskosten für alle Komponenten der indirekten Methode ca. um den Faktor 10 geringer als die Kosten für eine Drehmomentmesswelle. Aus diesem Grund wird der PV1710 vorerst mit dem Kraftsensor KD40s $\pm 20\text{N}$ der Firma ME-Meßsysteme GmbH (siehe Abb. 4.5) genutzt.



Abb. 4.5: Kraftsensor KD40s $\pm 20\text{N}$ der Firma ME-Meßsysteme GmbH [11]

Der Kraftsensor besitzt einen Messbereich von $\pm 20\text{ N}$ [11]. Die Kraft wird mit Hilfe eines DMS gemessen, welcher an eine Messbrücke angeschlossen werden muss.

Der eingesetzte Sensor besitzt vom Werk her spezifische Kennwerte (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Kennwerte des Kraftsensors KD40s ± 20 N

<i>Kennwert K_n</i>	<i>Nennkraft F_n</i>	<i>Nullsignal K_0</i>	<i>Nulllast F_0</i>
0,486 mV/V	20 N	0,0088 mV/V	0 N

Hieraus lässt sich folgende Kennlinie ableiten:

Theoretisches Ausgangssignal

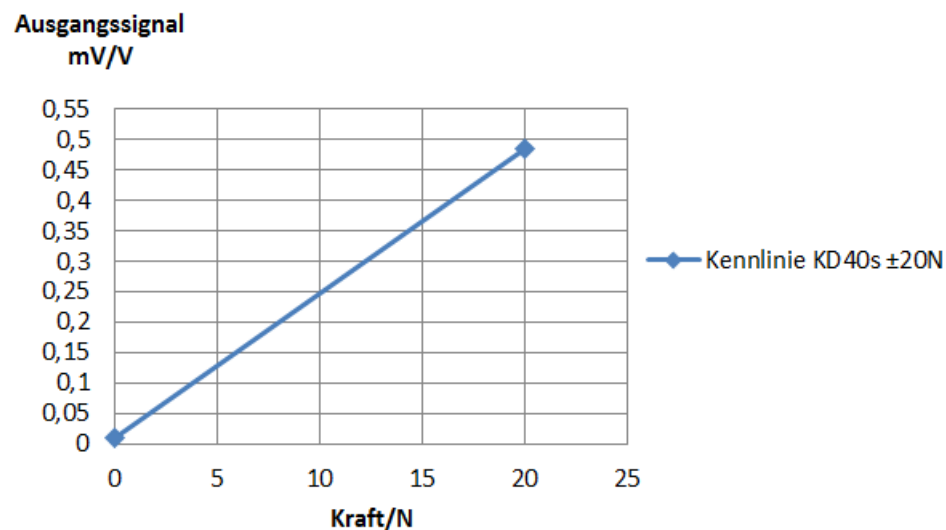


Abb. 4.6: Theoretisches Ausgangssignal des Kraftsensors KD40s ± 20N

Mit folgender Gleichung kann die erforderliche Länge des Hebelarms r berechnet werden:

$$r_{\text{erf}} = \frac{M_{\text{Messbereich}}}{F_n} = \frac{2 \text{ N m}}{20 \text{ N}} = 100 \text{ mm} \quad (\text{Gl. 4.2})$$

r_{erf} : erforderliche Länge des Hebelarms

$M_{\text{Messbereich}}$: geforderter Messbereich des Drehmoments

F_n : Nennkraft des Kraftsensors

Die Länge des Hebelarms r sowie die Steigung m_F der Sensorkennlinie (siehe Abb. 4.6) kann in der folgenden Gleichung zum Verstärkungsfaktor V_M zusammengefasst werden, der zur Berechnung des Drehmoments an die Messsoftware *MessVS*⁸ übergeben werden muss:

$$V_M = \frac{1}{m_F} r_{\text{erf}} = \frac{1 \text{ N}}{0,00002386} 0,1 \text{ m} = 4191,115 \text{ N m} \quad (\text{Gl. 4.3})$$

m_F : Steigung der Kraftsensor-Kennlinie

Wobei sich m_F wie folgt berechnet:

$$m_F = \frac{K_n - K_0}{F_n} = \frac{0,486 \frac{\text{mV}}{\text{V}} - 0,0088 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}{20 \text{ N}} = 0,00002386 \frac{1}{\text{N}} \quad (\text{Gl. 4.4})$$

4.3.2 Drehgeber – Kübler

Zur Messung des Drehwinkels des Motors φ_{Motor} kommt der Drehgeber 8.3610.3324.0360 der Firma Kübler zum Einsatz. Die Abteilung *Testing* nutzt diese Drehgeber auch in vielen anderen Prüfständen zur Drehwinkelmessung. Außerdem erfüllt dieser Drehgeber alle Anforderungen, was seine Auswahl nahelegt. In Abb. 4.7 ist der ausgewählte Drehgeber zu sehen, welcher eine Vollwelle mit dem Durchmesser von 6 mm besitzt und bis zu einer maximalen Drehzahl von $n_{\text{max}} = 12000 \text{ min}^{-1}$ eine Auflösung von 360 Impulse pro Umdrehung liefert [12].



Abb. 4.7: Drehgeber 8.3610.3324.0360 der Firma Kübler [12]

⁸ Softwareprogramm, das in der Abteilung *Testing* entwickelt wurde und zur Datenerfassung genutzt wird.

4.3.3 Thermoelement

Um das Temperaturverhalten von Prüflingen zu untersuchen, werden diese zum Beispiel im Dauerlauf getestet. Dabei werden an den relevanten Bauteilen bzw. Baugruppen Thermoelemente angebracht, mit denen eine Aufzeichnung der Temperaturunterschiede möglich ist. Im Falle des PV1710 werden, genauso wie in anderen Prüfeinrichtungen der Abteilung *Testing*, Thermopaare vom Typ K eingesetzt. Diese werden, wie in Abb. 4.8 zu sehen ist, angeschlossen. Das Thermopaar besteht aus zwei unterschiedlichen Metallen, in diesem Fall aus NiCr und Ni. Werden die Thermoelemente an der Messstelle miteinander verbunden, entsteht bei einem Temperaturunterschied entlang der Thermoleitung eine elektrische Spannung an der Vergleichsstelle. Nach IEC 584-3 besitzt ein Thermopaar Typ K der Klasse 1 einen Temperaturmessbereich von -40 °C bis +1000 °C. Hierbei weisen sie eine Grenzabweichung von maximal 1,5 °C oder 0,4 % auf. Dies ist auch der Grund, wieso Thermoelemente dieses Typs in der Abteilung *Testing* eingesetzt werden. Beim PV1710 wird das Messgerät durch das NI 9211 TC-Eingangs-Modul realisiert. [13]

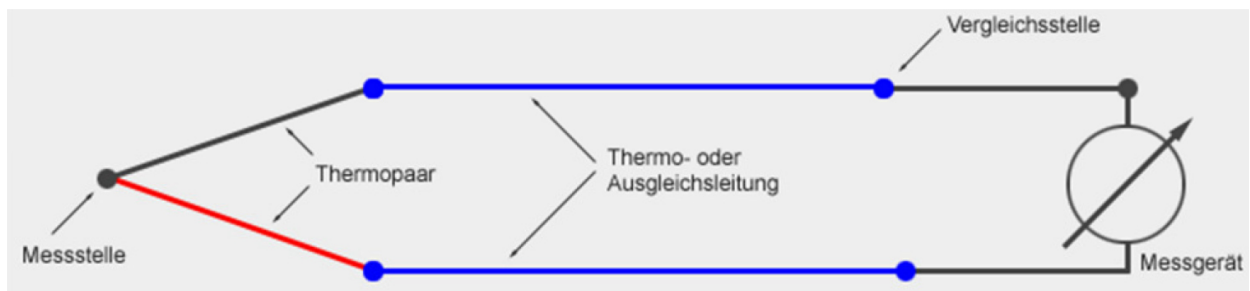


Abb. 4.8: Schematische Darstellung zum Anschluss der Thermoelemente [13]

4.4 Kupplungen – R+W

Zur mechanischen Verbindung von Motorwelle und Bremswelle bzw. Drehmomentmesswelle sowie zur Verbindung der Bremswelle mit der Drehgeberwelle, werden unterschiedliche Kupplungen benötigt. Alle Kupplungen müssen dabei folgende Anforderungen erfüllen: Sie müssen eine kompakte Bauweise besitzen, spielfrei und verdrehsteif sein sowie ein niedriges Massenträgheitsmoment aufweisen. Außerdem sollten die Kupplungen einen radialen Spielausgleich besitzen, um Fertigungs- bzw. Montagetoleranzen ausgleichen zu können. Deshalb kommen im Prüfstand PV1710 MK2 Miniaturbalkkupplungen der Firma R+W Antriebselemente GmbH mit einem Nennmoment von 2 Nm zum Einsatz (siehe Abb. 4.9). Die Bohrungsdurchmesser werden jeweils an die Wellendurchmesser der entsprechenden Komponenten angepasst. Außerdem wird

die empfindliche Drehmomentmesswelle mit einer zusätzlichen Sicherheitskupplung SK2 gegen Überlast geschützt. [14]



Abb. 4.9: MK2 Miniaturbalgkupplung (rechts) und SK2 Sicherheitskupplung (links) [14]

4.5 Messtechnik – National Instruments

Die Messtechnik von National Instruments spielt eine zentrale Bedeutung in der Arbeit der Abteilung *Testing*. Speziell wird die Datenerfassungsplattform CompactDAQ verwendet, im Falle des PV1710 das NI cDAQ-9178 (siehe Abb. 4.10). Das CompactDAQ ermöglicht es, verschiedene Module zur Datenerfassung oder zur Ansteuerung anzuschließen. Das NI cDAQ-9178 kommuniziert über eine USB-Schnittstelle mit dem Computer.

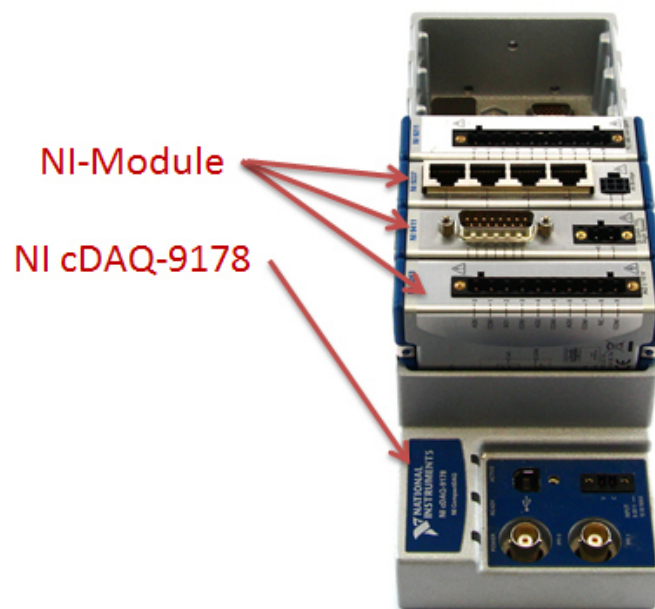


Abb. 4.10: NI cDAQ-9178 Datenerfassungsplattform mit vier NI-Modulen

Alle geforderten Messgrößen können mit den Modulen des Testlabors erfasst werden. Hierzu gehören:

Tab. 3: NI-Module für PV1710

Modul	Mess-/Steuerungssignal	Verwendung
NI 9263 AO-Modul	4x ± 10 V Analogausgang	Ansteuerung PV1710
NI 9215 AI-Modul	4x ± 10 V Analogeingang	Strommessung (optional)
NI 9221 AI-Modul	4x ± 60 V Analogeingang	Spannungsmessung (optional)
NI 9211 TC-Eingangs-Modul	4x Thermoelement-Eingang	Temperaturmessung
NI 9237 DMS-Modul	4x ± 25 mV/V Analogeingang	Drehmomentmessung
NI 9411 DI-Modul	4x ± 5 V, 24 V Digitaleingang	Drehwinkelmessung

Die Spannungs- und Strommessung mit den NI-Modulen ist nur optional vorgesehen. Für den zu entwickelnden Laborversuch werden diese Messgrößen mit einem Multimeter gemessen. Grund hierfür ist die Realisierung der Motoransteuerung. Der Drehzahlsteller erzeugt ein PWM⁹-Signal, um den Gleichstrommotor variabel anzusteuern. Während des Laborversuchs wird die Motorspannung auf Basis der didaktischen Reduktion als konstante Gleichspannung angenommen. Weiteres hierzu siehe Abschnitt 7.1.

⁹ Modulationsart, bei der das Signal zwischen zwei Werten wechselt.

5 Entwurf des Motorenprüfstandes

In diesem Kapitel wird näher auf die Planung sowie die Realisierung des mechanischen Aufbaus des Prüfstands eingegangen. Außerdem wird die Realisierung der Ansteuerungssoftware für den PV1710 behandelt.

5.1 Erste Planungen des Prüfstandes

In den folgenden Abschnitten werden die Schritte vom ersten Entwurf des mechanischen Aufbaus, des Motoren-Bremsprüfstands PV1710, bis zum endgültigen Stand beschrieben. Hierbei werden auch Original-Skizzen verwendet.

5.1.1 Erster Entwurf

Zu Beginn der Arbeit entstehen bereits erste handgezeichnete Skizzen (siehe Abb. 5.1), in denen noch nicht alle Komponenten berücksichtigt werden. Sie dienen lediglich der schematischen Darstellung. Zu diesem Zeitpunkt werden jedoch schon die verschiedenen Möglichkeiten der Drehmomentermittlung verglichen. Auf der linken Seite von Abb. 5.1 ist der schematische Aufbau des Prüfstands mit Drehmomentmesswelle zu sehen, wobei auf der rechten Seite die Bremse gelagert ist und ein Kraftsensor eingesetzt wird. Diese zwei unterschiedlichen Konzepte – später (A) und (B) genannt – werden in den folgenden Abschnitten weiter ausgebaut. Die einzelnen Komponenten sind an ihren Wellenenden mit Kupplungen versehen, die zur Drehmomentübertragung dienen. Der Drehgeber zur Messung des Drehwinkels ist hierbei noch nicht vorhanden. Die Abmessungen der skizzierten Elemente sind außerdem noch nicht maßstabsgetreu, sondern nur grob abgeschätzt. Dies ist dadurch begründet, dass die Auswahl der Komponenten noch nicht stattgefunden hat.

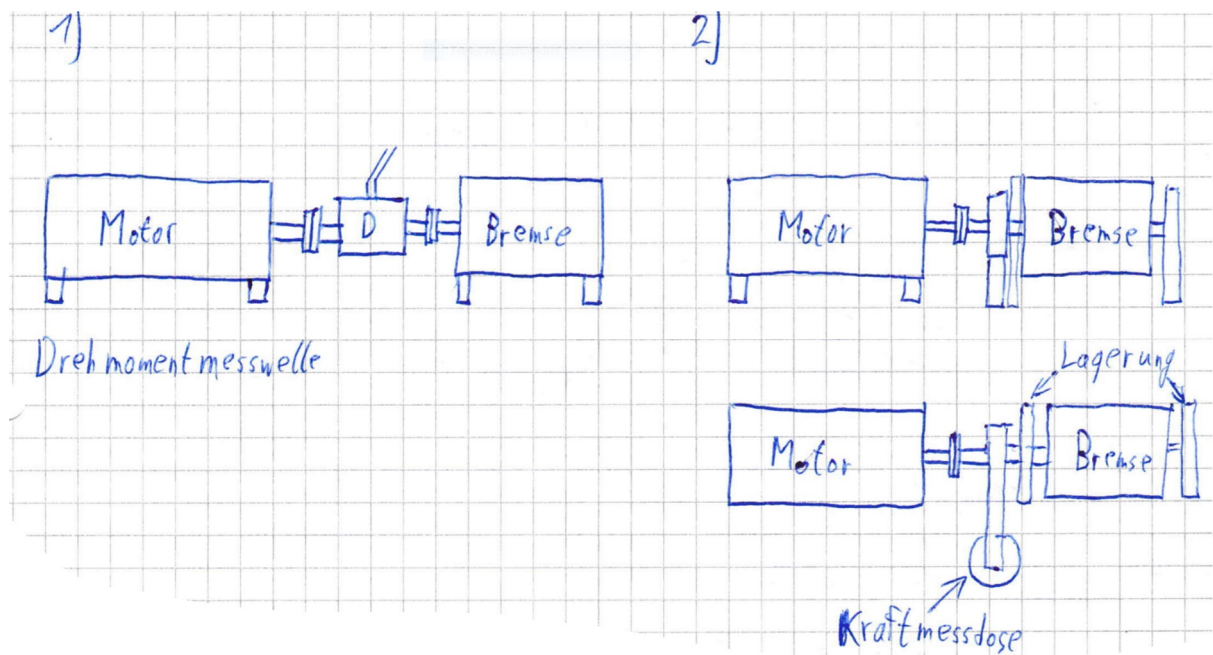


Abb. 5.1: Erster handgezeichneter Entwurf des Prüfstands PV1710

5.1.2 Zweiter Entwurf

Der zweite Entwurf wurde mit Microsoft OneNote¹⁰ erstellt, da dieses Programm eine leichtverständliche Oberfläche bietet, mit der sich 2D-Geometrien einfach erzeugen lassen. Die Zeichnungen bzw. Teilzeichnungen, können schnell vervielfältigt werden und sind leichter anpassbar als Handskizzen. In den Zeichnungen in Abb. 5.2 und Abb. 5.3 sind bereits die Außenmaße des mechanischen Aufbaus berechnet. Die Maße ergeben sich hierbei aus den Bemaßungen einzelner Komponenten, die zu diesem Zeitpunkt als wahrscheinliche Auswahlkomponenten in Frage kommen. Außerdem wird in diesem Entwurf bereits eine Plattform für den mechanischen Aufbau mit eingeplant. Des Weiteren sind in dieser Planungsphase Halterungen für die möglichen Komponenten sowie deren Befestigung auf der Plattform skizziert. Der Drehgeber ist in Abb. 5.2 als Hohlwellen-Drehgeber dargestellt. Dies hat zur Folge, dass keine Kupplung zwischen Hysteresebremse und Drehgeber notwendig ist.

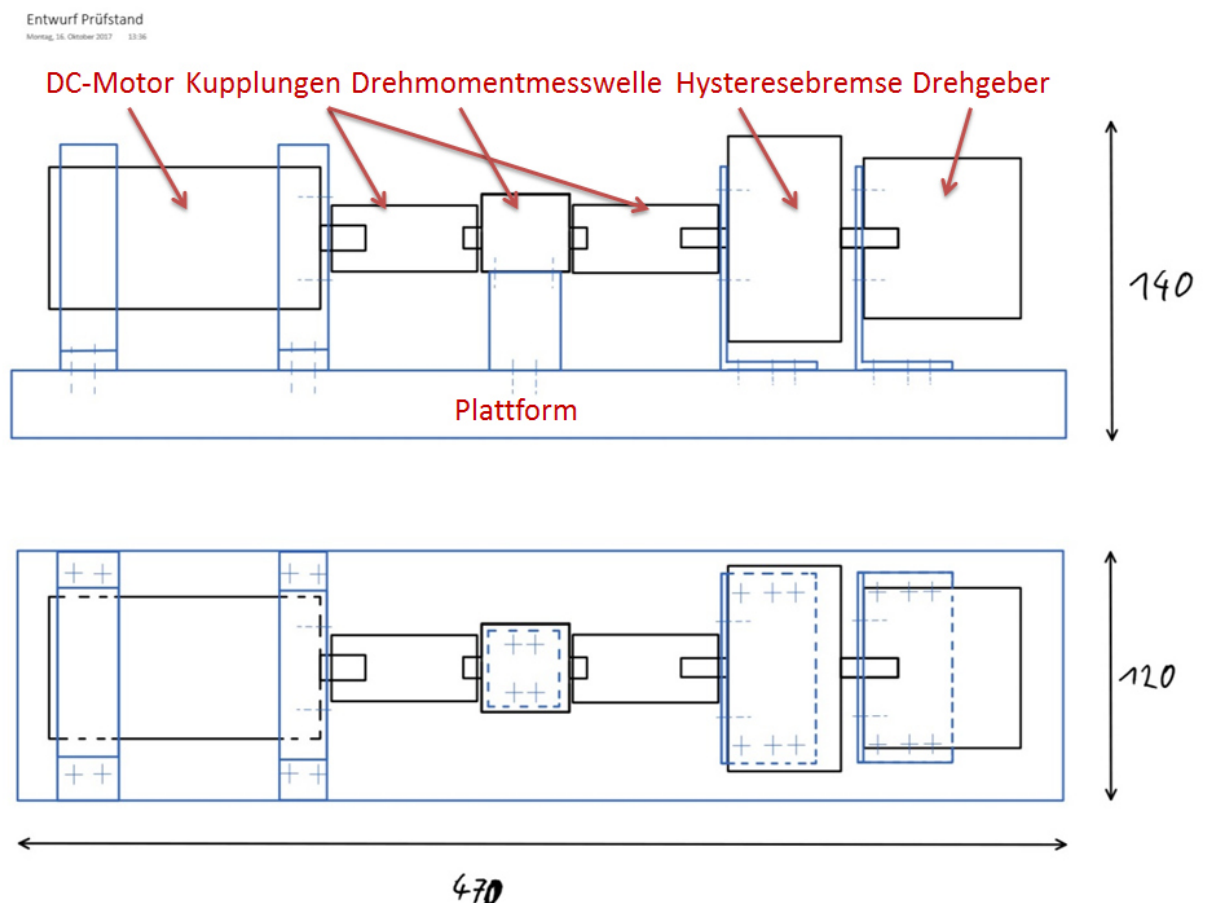


Abb. 5.2: Zweiter mit Microsoft OneNote erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (A)

¹⁰ „Notizblock“-Programm der Firma Microsoft.

In Abb. 5.3 ist derselbe Entwurf abgebildet wie in Abb. 5.2 mit dem Unterschied, dass hier die Drehmomentermittlung über den Kraftsensor erfolgt. Der Drehgeber kann dabei die Position der Drehmomentmesswelle einnehmen. Die Positionserfassung des Drehgebers wird hierbei über eine durchgehende Welle realisiert. Daraus folgt ein geringerer Platzbedarf in der Länge der Plattform. Die Ausführung eines Hebelarms sowie der Einbau des Kraftsensors verursachen jedoch einen breiteren und höheren Aufbau.

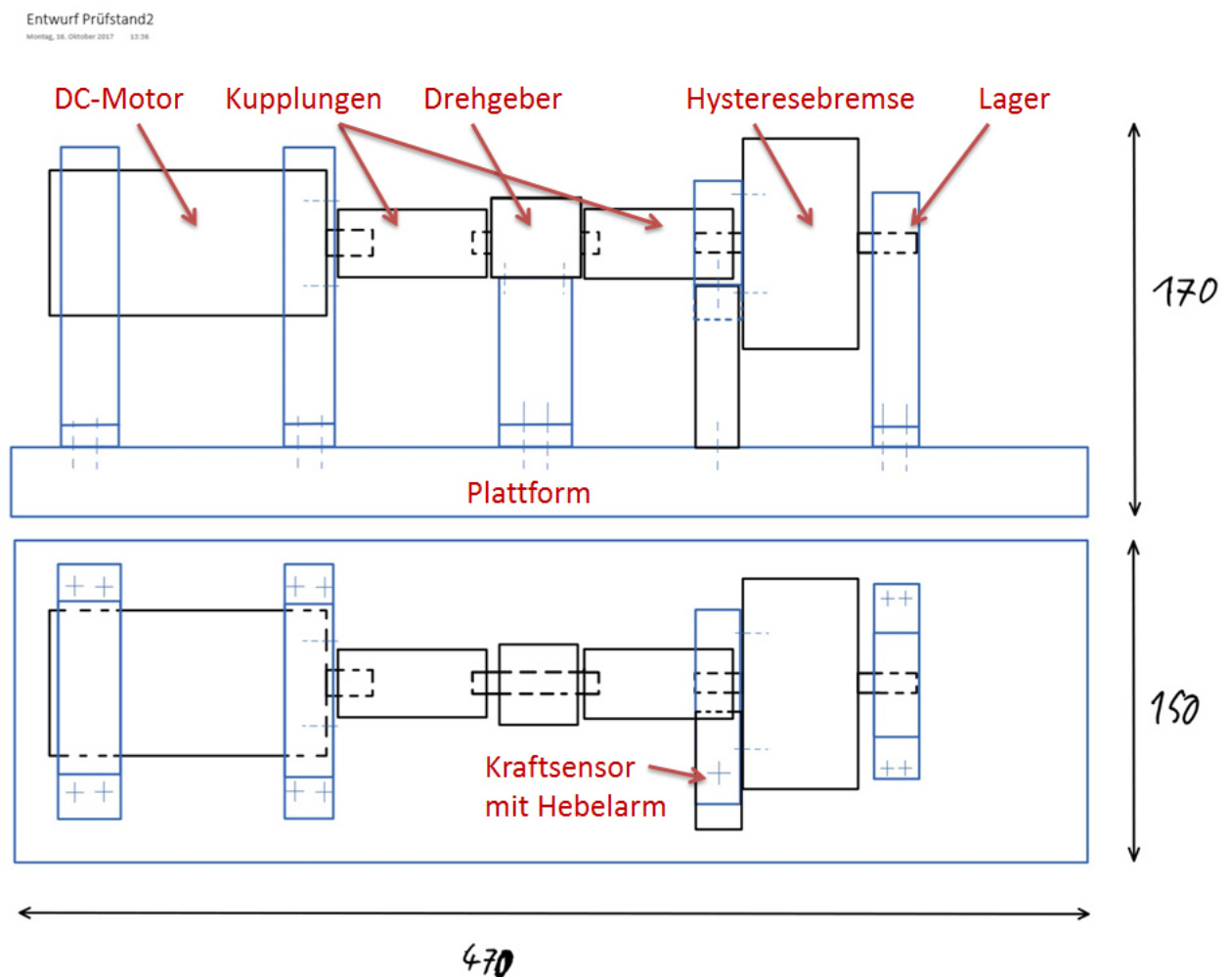


Abb. 5.3: Zweiter mit Microsoft OneNote erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (B)

5.1.3 Dritter Entwurf

Da OneNote nur zur Darstellung von 2D-Geometrien einsetzbar ist, wird im nächsten Schritt der Entwurfsphase ein 3D-Modell erstellt, um ein optimales räumliches Abbild zu erhalten. Zur Erstellung des Entwurfs (siehe Abb. 5.4 und Abb. 5.5) wird das CAD-Tool Creo Elements/Direct Modeling der Firma PTC verwendet. Alle Elemente dieser 3D-Modelle wurden anhand von Datenblättern bzw. Zeichnungen möglicher Komponenten abgeleitet.

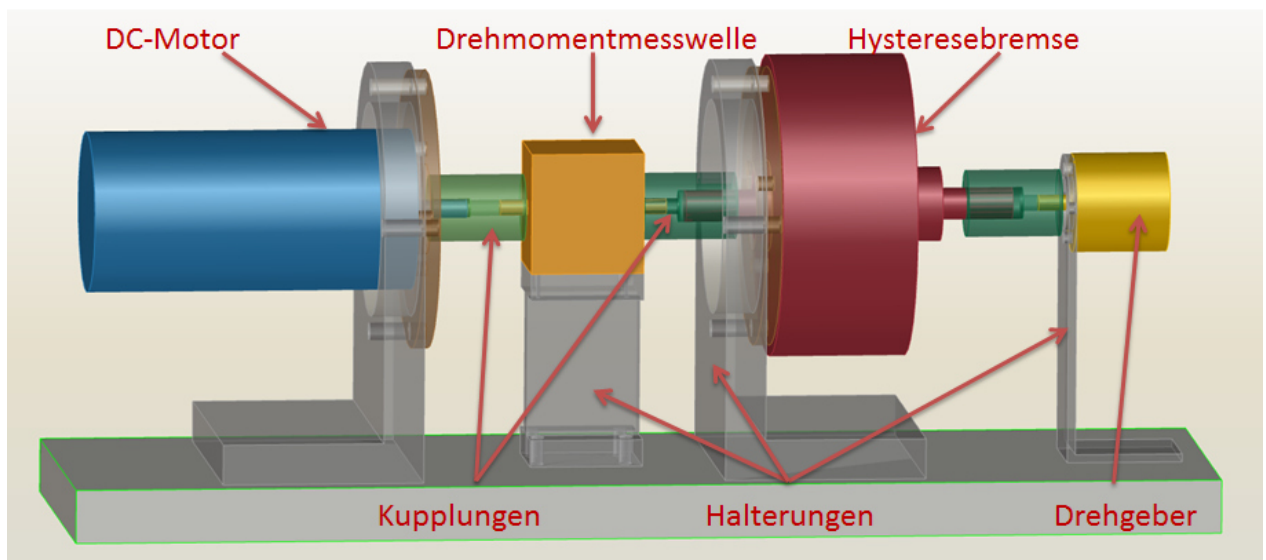


Abb. 5.4: Dritter mit Creo (CAD-Tool) erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (A)

Der DC-Motor (blau) und die Hysteresebremse (rot) stehen zu diesem Zeitpunkt als gewählte Komponenten für den Prüfstand fest. Ebenso ist die Entscheidung für einen Vollwellen-Drehgeber (gelb) getroffen worden. Die Kupplungen, die zur Verbindung der Wellenenden dienen, sind grün dargestellt. In Abb. 5.4 wird die Drehmomentmesswelle orange abgebildet. Außerdem ist bei DC-Motor und Hysteresebremse zwischen deren Halteungen je ein Flansch geplant. Diese Flansche können bei Bedarf mit Montagebohrungen ergänzt werden, um unterschiedliche Motoren bzw. Bremsen auf dem Prüfstand zu testen.

In Abb. 5.5 sieht man, dass die L-förmige Halterung der Bremse durch den Hebelarm ersetzt wird. Um das Prinzip der Drehmomentermittlung leichter zu verstehen, ist der Hebelarm der Form eines Schraubenschlüssels nachempfunden. Somit können die Auszubildenden bereits Bekanntes, nämlich das Anziehen von Schrauben, mit dem neuen Wissen besser verknüpfen. Der Kraftsensor ist in diesem Entwurf als Kraftmessdose ausgeführt. Diese Bauform wurde später aus wirtschaftlichen Gründen noch geändert. Außerdem kann man in dieser Abbildung erahnen, dass die Bremse mit ihrem gesamten Gewicht die Kupplungen sowie die Messwelle des Drehgebers stark belastet. Um einem Bauteilversagen vorzubeugen, wird im folgenden Abschnitt näher hierauf eingegangen.

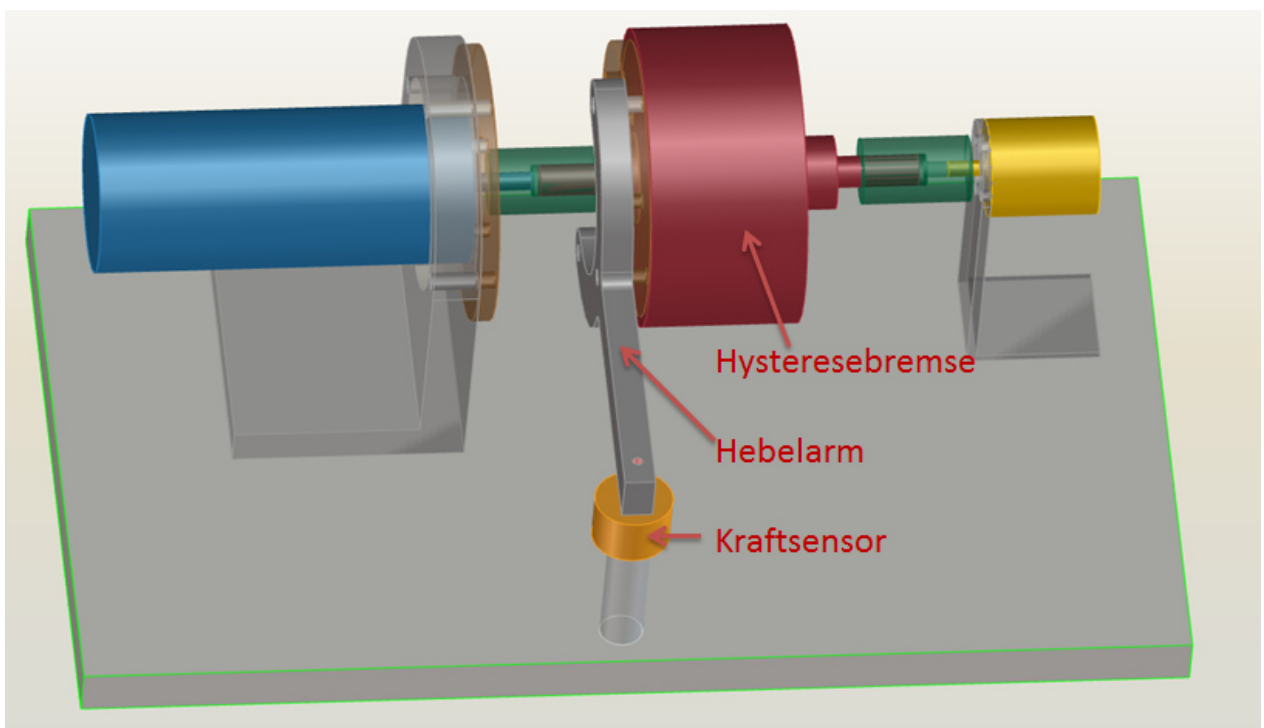


Abb. 5.5: Dritter mit Creo (CAD-Tool) erstellter Entwurf des Prüfstands PV1710 (B)

5.2 Endgültige geplante Version des Prüfstandes

Die Abb. 5.6 zeigt die endgültige Version des selbständig geplanten Prüfstand PV1710 als CAD-Modell. Hierauf sind alle mechanischen Komponenten des Prüfstands abgebildet. Alle mechanischen Kaufteile sind dabei CAD-Modelle der Hersteller bzw. der Lieferanten. Unter dem mechanischen Aufbau des Prüfstands ist außerdem die Leistungselektronik-Box mit allen größeren Komponenten zu sehen. Bremsenansteuerung, DC-Drehzahlsteller sowie die Netzteile sind auf einer Hutschiene montiert. Leitungen, Stecker und Verbindungsklemmen sind aufgrund einer besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

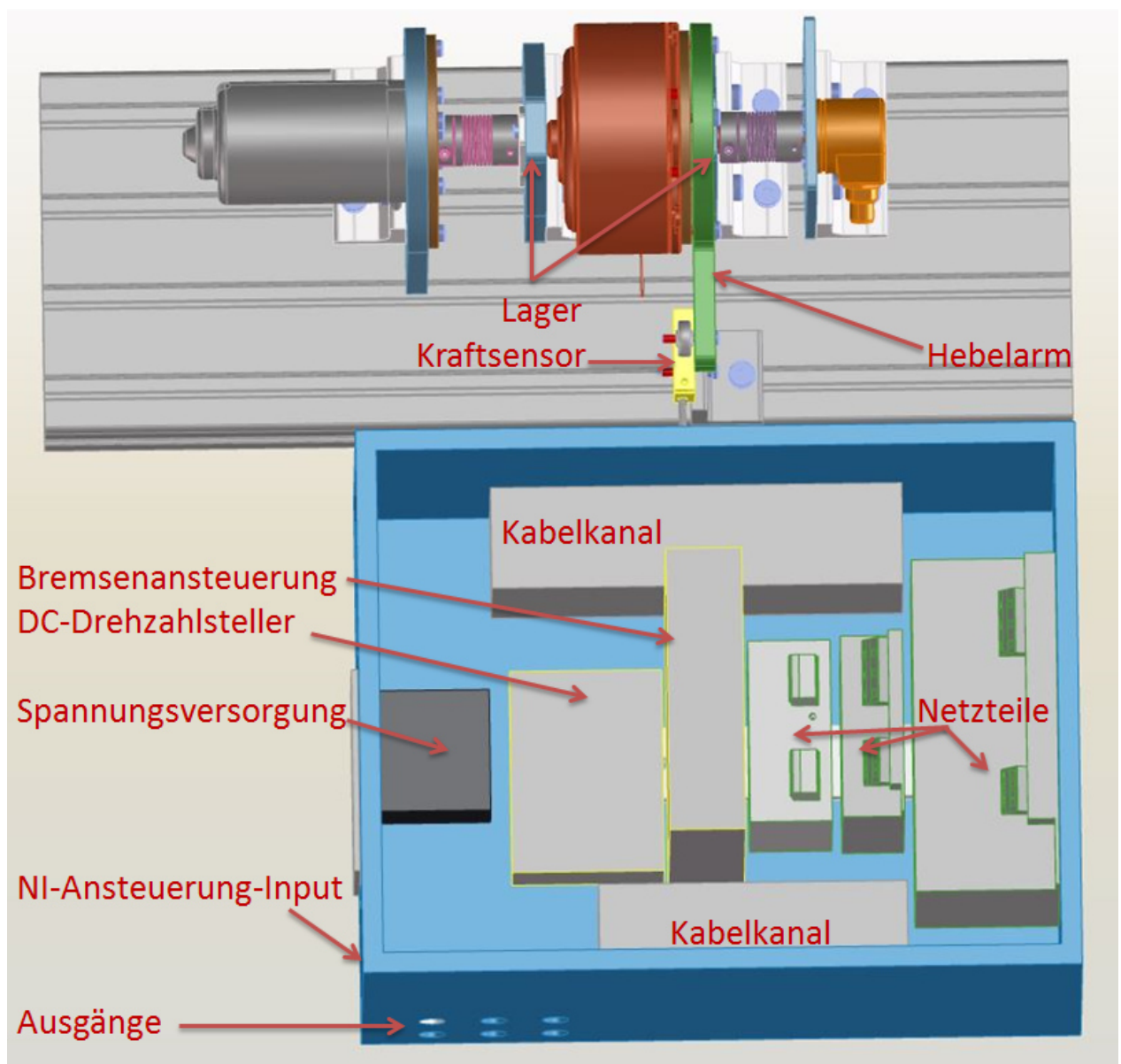


Abb. 5.6: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Gesamtansicht) mit Leistungselektronik-Box

Da die Halterungen der mechanischen Komponenten aus wirtschaftlichen Gründen in der Lehrwerkstatt am Standort Müllheim gefertigt werden sollen, wurde entschieden, die Winkel (weiß) passend zum Aluprofil-System der Firma FM-Systeme zu beziehen. So können die Halterungen, Flansche sowie Lagerdeckel aus Flachmaterial gefertigt werden. Alle mechanisch bearbeiteten Teile werden aus dem Material Al Mg3¹¹ gefertigt.

In Abb. 5.7 ist die endgültige Version des Prüfstands, unter Verwendung der Drehmomentmesswellen, zu sehen. Hierfür wurden für beide Messwellen entsprechende Halterungen konstruiert und gefertigt (siehe Abschnitt 5.2.3.1). In der finalen Version wird die Hysteresebremse aus Montagegründen auf ihrer rechten Seite an die Halterung bzw. den Hebelarm montiert. Zur Entlastung der Kupplungen wird die Hysteresebremse in Version (B) mit zwei Lagern abgestützt (siehe Abb. 5.6 und Abschnitt 5.2.2).

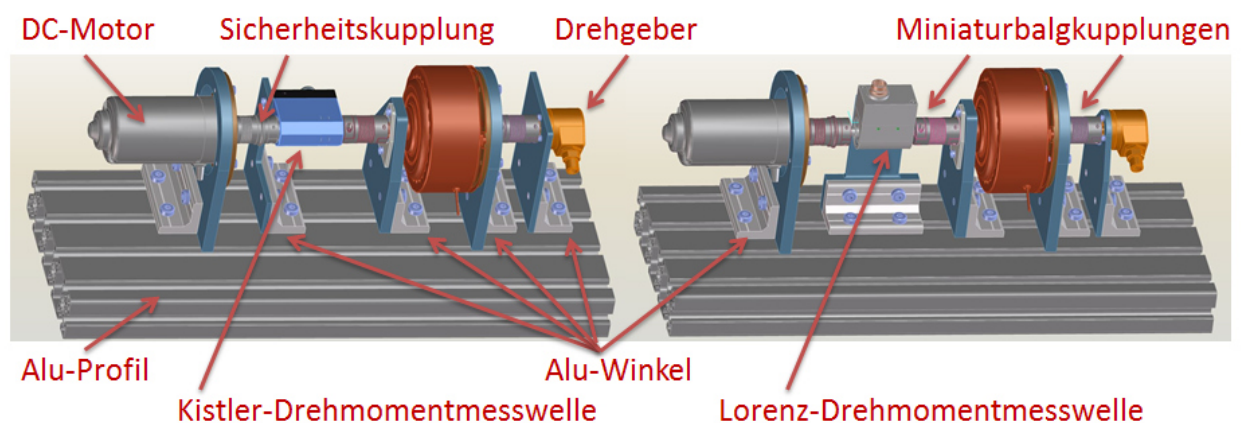


Abb. 5.7: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Gesamtansicht) mit Drehmomentmesswellen

Der Prüfstand kann in allen Varianten auf demselben Alu-Profil montiert werden. Die Abmessungen des Stellplatzes, die der gesamte Prüfstand inkl. Leistungselektronik-Box und Compact-DAQ benötigt, sind: 60 cm Länge, 51 cm Breite, 20 cm Höhe. Das Gewicht des mechanischen Aufbaus beträgt ca. 10 kg. Die Leistungselektronik-Box wiegt ca. 5 kg.

¹¹ Aluminiumlegierung mit einem Anteil von 3 % Magnesium.

5.2.1 Aufnahme des Motors (Prüfling)

Der Gleichstrommotor wird mit vier M5-Zylinderschrauben an den Motor-Flansch montiert (siehe Abb. 5.8). Der Motor-Flansch ist dabei so konstruiert, dass auch Prüflinge mit einer größeren Antriebswelle eingesetzt werden können. Außerdem ermöglicht der Motor-Flansch mit einem Innendurchmesser von 34 mm eine platzsparende Montage der Miniaturbalgkupplung. Im Motor-Flansch befinden sich ausschließlich Durchgangsbohrungen, die passenden Innengewinde befinden sich am Motor bzw. in der Halterung. Mit weiteren vier M5-Zylinderschrauben ist der Flansch an der Halterung fixiert. Diese hat ebenfalls eine größere Aussparung, um für weitere Motoren Platz zu bieten. Mit vier M8-Zylinderschrauben sind alle Alu-Winkel der Firma FM-Systeme an den jeweiligen Halterungen und dem Aluprofil-System befestigt. Letzteres wird in Verbindung mit sogenannten T-Nutensteinen (nicht abgebildet) der Firma FM-Systeme realisiert.

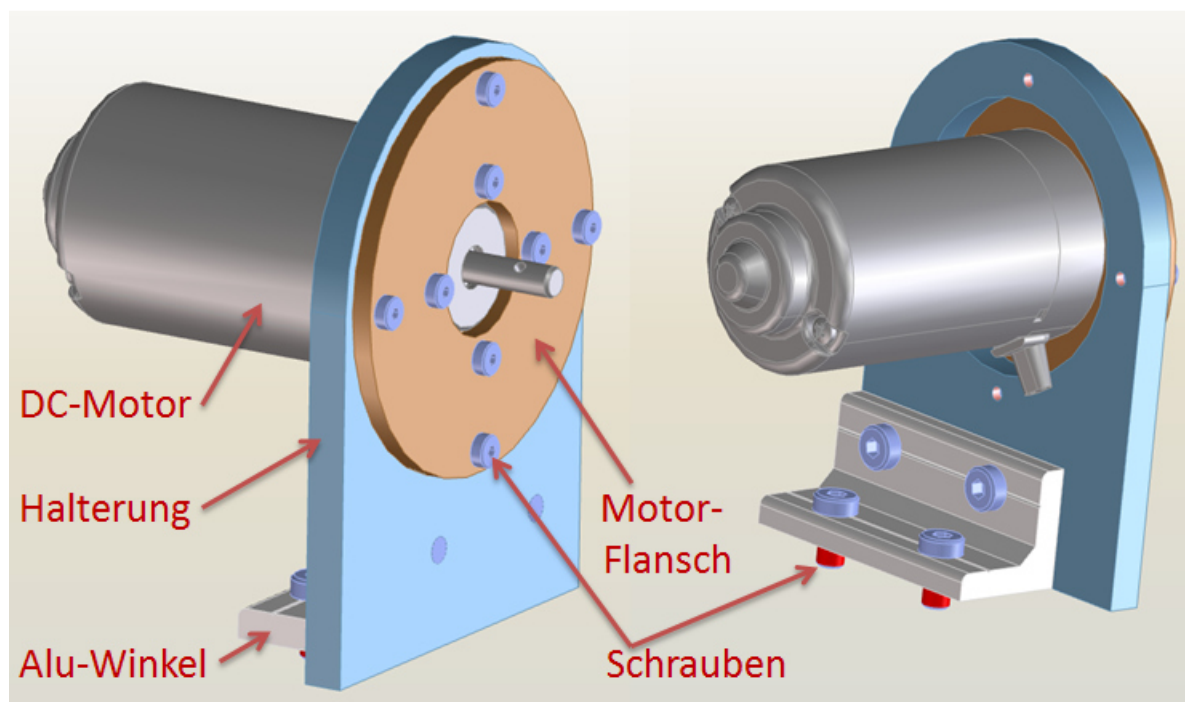


Abb. 5.8: Prüfstand PV1710 CAD-Modell (Detailansicht: Aufnahme für den Prüfling)

5.2.2 Lagerung / Halterung der Bremse

In diesem Abschnitt soll näher auf die Realisierung der Lagerung (siehe Abb. 5.9) bzw. Halterung (siehe Abb. 5.10) der Bremse eingegangen werden. Die Montage der Lagerhalterungen erfolgt wie im vorherigen Abschnitt bereits beschrieben. Die Rillenkugellager S6001-2RSR-HLC der Firma FAG sind aus Edelstahl gefertigt und besitzen beidseitige Dichtscheiben aus NBR¹², die ein Eindringen von Schmutz verhindern. Nach DIN 5425-1 handelt es sich bei dieser Art der Lagerung um ein Radiallager, dessen Innenring (Welle der Bremse) sich dreht. Hieraus folgt, dass auf den Innenring eine Umfangslast und auf den Außenring des Lagers eine Punktlast wirkt. Dies hat für die Montage zur Folge, dass die Lager auf die Welle ($d = 12h5$) der Hysteresebremse als Übergangspassung aufgepresst werden. Die Lagerhalterungen sind mit einem Bohrungsdurchmesser von 28G7 als Spielpassung ausgeführt. Die Lagerdeckel dienen zum Schutz der Rillenkugellager und bieten mit einem Absatz von 1,5 mm axiales Spiel. Somit sind die Lager als Loslager definiert. Das „Festlager“ bildet die Halterung des Prüflings.

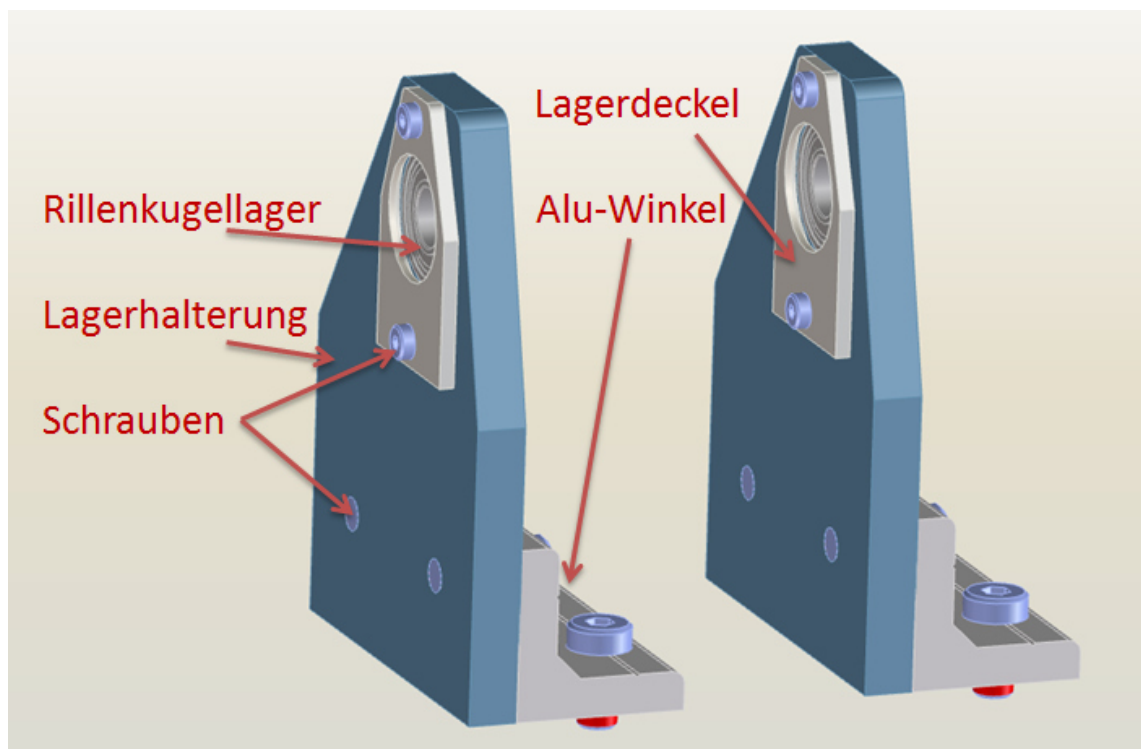


Abb. 5.9: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Detailansicht: Lagerung der Bremse)

¹² Acrylnitril-Butadien-Kautschuk mit hoher Beständigkeit gegen Mineralöle und Fette.

In Abb. 5.10 sieht man, wie im Falle einer Drehmomentmessung durch eine Drehmomentmesswelle das rechte Lager sowie dessen Halterung durch eine Halterung ähnlich der des Prüflings ausgetauscht wird. Außerdem ist der Bremsen-Flansch zu sehen, der mit vier M5-Innengewinden und den jeweiligen Zylinderschrauben an der Halterung fixiert ist. Der Flansch selbst wird mit drei Senkkopfschrauben (nicht abgebildet) an der Hysteresebremse montiert.

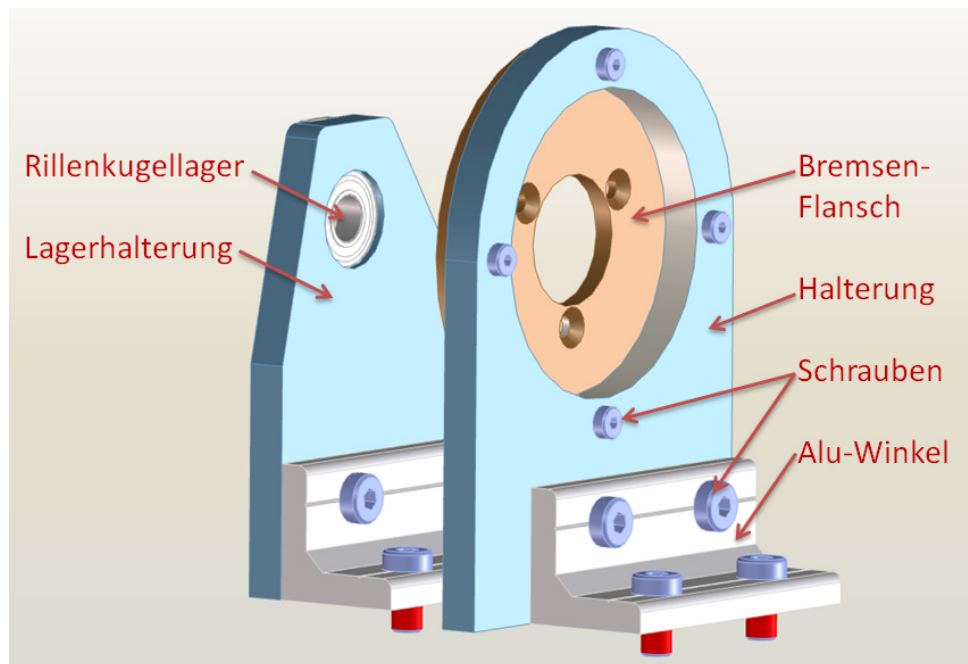


Abb. 5.10: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Detailansicht: Halterung der Bremse)

5.2.3 Drehmomentmessung

In den folgenden zwei Abschnitten 5.2.3.1 und 5.2.3.2 wird die Realisierung der jeweiligen Komponenten zur Drehmomentmessung genauer beleuchtet.

5.2.3.1 Drehmomentmessung mittels Drehmomentmesswelle

Für die ausgewählten Drehmomentmesswellen der Firma Kistler Holding AG und LORENZ MESSTECHNIK GmbH wird je eine Halterung konstruiert und von der Lehrwerkstatt gefertigt. Die Drehmomentmesswellen besitzen je vier Gewindebohrungen, über die sie an die Halterung geschraubt werden können. Da die Halterungen eine möglichst einfache Geometrie aufweisen sollen und die Gewindebohrungen unterschiedliche Ausrichtungen besitzen, wurde entschieden, für jede Drehmomentmesswelle eine eigene Halterung zu fertigen.

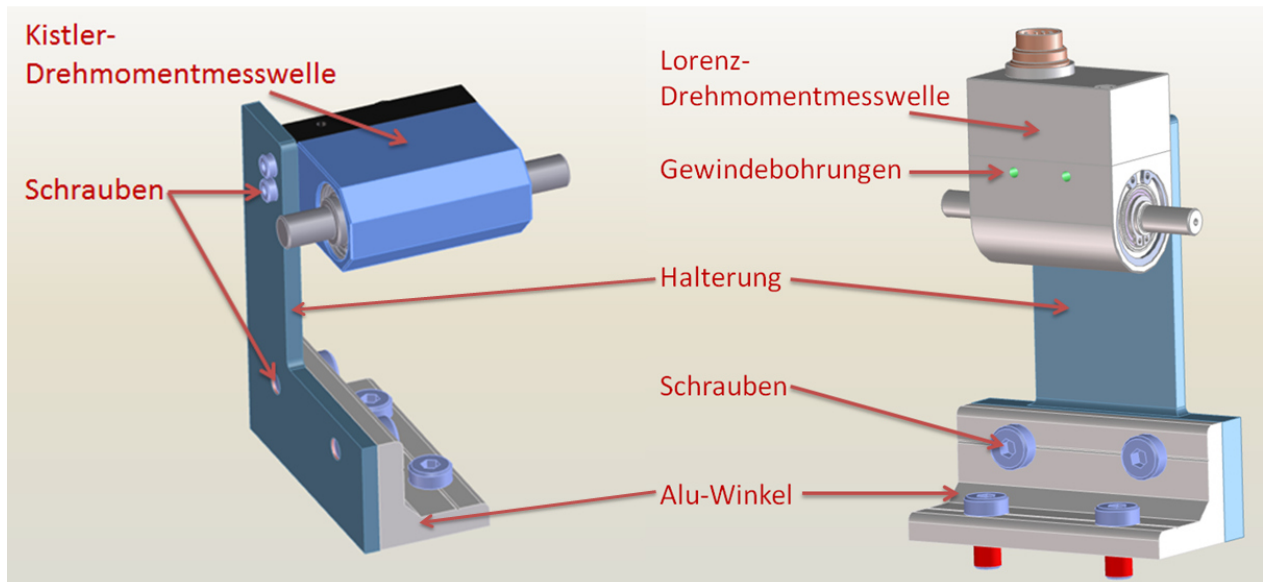


Abb. 5.11: Prüfstand PV1710 (A) CAD-Modell (Detailansicht: Drehmomentmesswellen)

5.2.3.2 Drehmomentmessung mittels Kraftsensor

In Abb. 5.12 ist die finale Version des Hebelarms und die Montage des Kraftsensors abgebildet. Die ursprünglich geplante Form des Hebelarms (siehe Abb. 5.5) musste abgeändert werden, da der Einbau der Rillenkugellager sowie deren Halterung, einen Hebelarm in Form eines Schraubenschlüssels nicht erlaubt. Der Hebelarm kann über drei Zylinderschrauben an den Bremsenflansch montiert werden. Außerdem ermöglicht es die Form, seine Wirkweise mit einem Hakenschlüssel¹³ zu vergleichen. Am Ende des Hebelarms und am Alu-Winkel ist eine Passbohrung 5H7, durch die jeweils eine M4-Passschraube als Spielpassung geschoben wird. Die Gelenkösen werden ebenfalls auf die Passschrauben geschoben und mit Muttern gesichert. Zur optimalen Krafteinleitung in den Kraftsensor besitzen die Gelenkösen ein Kugelgelenk, welches Ausrichtungsfehler des Hebelarms oder des Alu-Winkels ausgleicht.

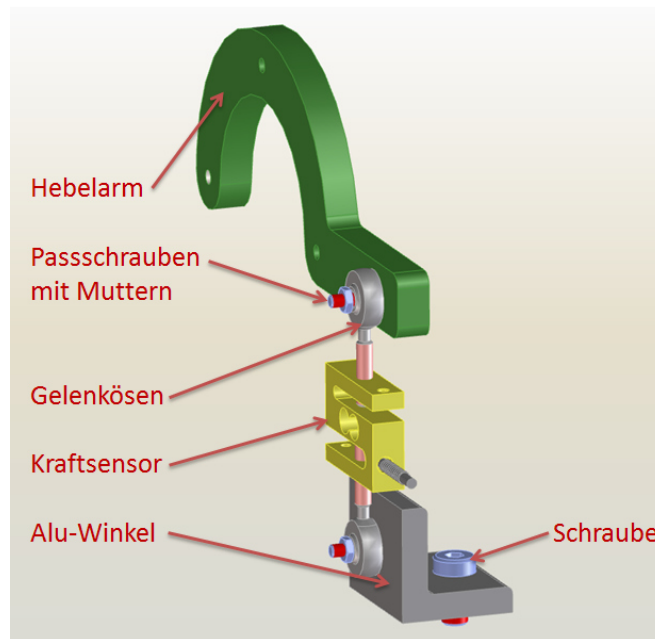


Abb. 5.12: Prüfstand PV1710 (B) CAD-Modell (Detailansicht: Umsetzung der Kraftmessung)

5.2.4 Aufnahme des Drehgebers

Der Drehgeber wird, wie in Abb. 5.13 zu sehen ist, mit vier Zylinderschrauben an dessen Halterung befestigt. Aufgrund der geringen Masse des Drehgebers sowie der Tatsache, dass die Messwelle des Drehgebers keinem nennenswerten Drehmoment ausgesetzt ist, wird die Halterung aus Flachmaterial mit einer Dicke von 5 mm gefertigt. Dies führt zu einer Gewichtseinsparung.

¹³ Ähnliches Werkzeug wie ein Schraubenschlüssel

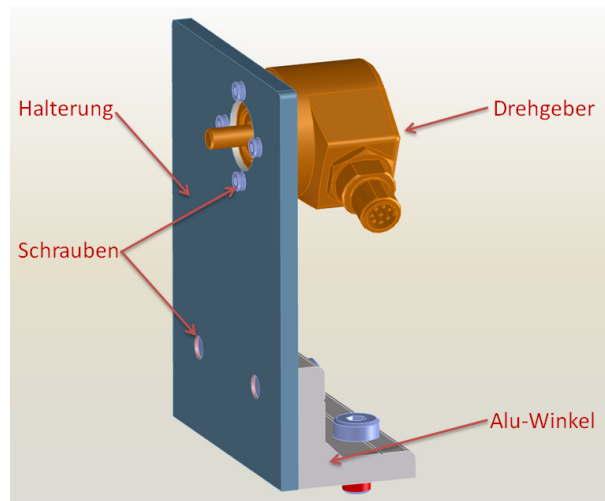


Abb. 5.13: Prüfstand PV1710 CAD-Modell (Detailansicht: Aufnahme des Drehgebers)

5.3 Software zur Ansteuerung des Prüfstands

In diesem Abschnitt wird näher auf die Realisierung, Funktionen und Bedienung der Ansteuerungssoftware eingegangen, die in LabVIEW¹⁴ geschrieben wurde. Dieses Programm trägt den Namen *PV1710_Ansteuerung.exe* und ermöglicht es, die Sollwerte für den DC-Motor (Drehzahl) sowie für die Bremse (Drehmoment) einzustellen.

5.3.1 Realisierung der Software

Bei der Planung und Entwicklung der Ansteuerungssoftware kann man die Vorgehensweise am besten mit Extreme Programming¹⁵ beschreiben. Hierbei stehen die Kommunikation und die Programmierung im Mittelpunkt. Dieser Prozess ist flexibel für Änderungen während der Realisierung des Programms. Anpassungen bzw. Erweiterungen der Anforderungen werden in iterativen Schleifen programmiert und getestet.

Bei der Programmierung der finalen Softwareversion zur Ansteuerung des Prüfstands PV1710 kommt das Consumer-Producer-Modell zur Anwendung. Bei diesem Modell laufen stets zwei Schleifen parallel zueinander ab. Die Befehle, die der Nutzer eingibt, werden von der Producer-Schleife in Form einer Ereignisstruktur¹⁶ entgegengenommen. Diese „liefert“ der Consumer-Schleife kontinuierlich Arbeitsaufträge. Die Consumer-Schleife übernimmt diese Arbeitsaufträge und führt sie aus. Im Falle dieser Arbeit aktualisiert sie die Bedienoberfläche des Programms und

¹⁴ Grafische datenflussorientierte Programmiersprache der Firma National Instruments.

¹⁵ Iterative, agile Vorgehensweise bei der Entwicklung von Software.

¹⁶ Blockdiagrammelement in LabVIEW zur Erfassung von Interrupts.

steuert das Ausgangsmodul NI 9263 AO-Modul. In Abb. 5.14 ist das theoretische Schema des Consumer-Producer-Modells in LabVIEW dargestellt.

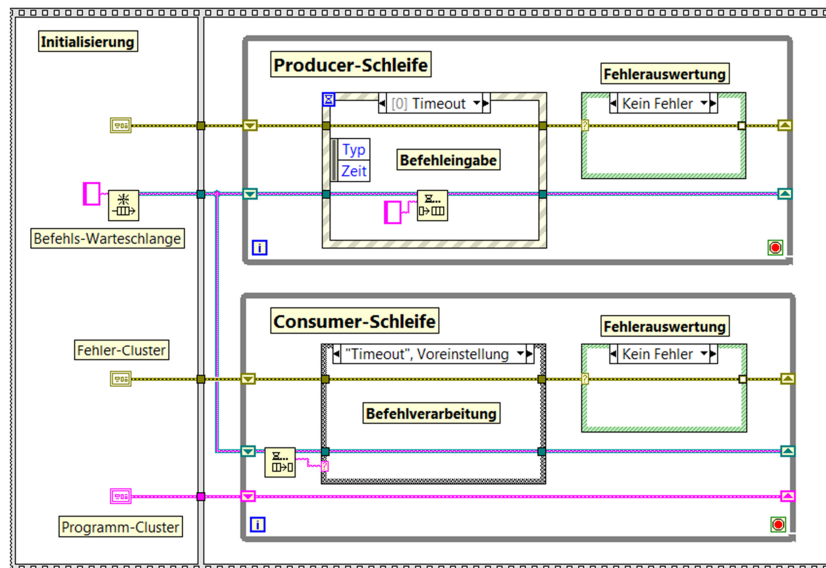


Abb. 5.14: Schematisches Konzept des Consumer-Producer-Modells (Blockdiagramm¹⁷)

Ein LabVIEW Programm besteht immer aus zwei Teilen, dem Blockdiagramm (siehe Abb. 5.14) und dem Frontpanel¹⁸ (siehe Abb. 5.15), welches später die Bedienoberfläche des ausführbaren Programms bildet.

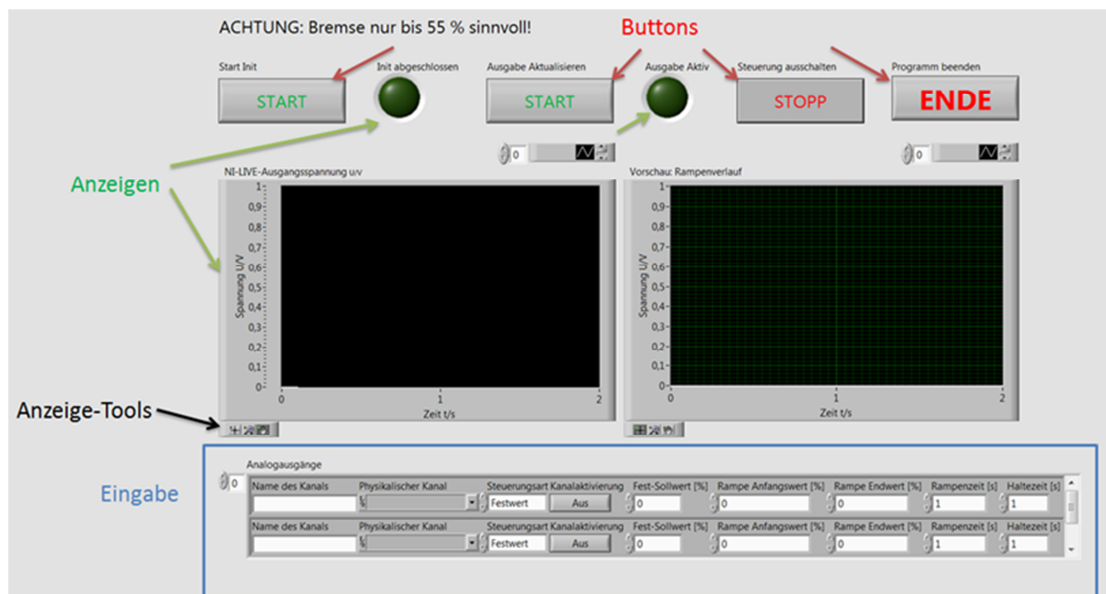


Abb. 5.15: Frontpanel des LabVIEW Programms PV1710_Ansteuerung.vi

¹⁷ grafischer Quellcode für die Programmlogik in LabVIEW

¹⁸ Bedienoberfläche eines LabVIEW-Programms

Im Blockdiagramm von *PV1710_Ansteuerung.vi* wird vor dem Ablauf der Producer-Consumer-Schleifen eine Initialisierung durchgeführt (siehe Abb. 5.16). Hierbei werden alle Eingabeparameter auf einen definierten Startwert gesetzt. Die *Eingabe* besteht hierbei aus einem Array namens *Analogausgänge*, welcher aus einer Typendefinition von verschiedenen Eingabeparametern besteht. Jedes Element des Arrays bildet dabei einen Kanal ab, der später von dem Ausgangsmodul NI 9263 AO-Modul beschrieben wird (siehe Abb. 5.16 Mitte). Außerdem findet während der Initialisierung ein Reset der *Anzeigen* statt (siehe Abb. 5.16 unten).

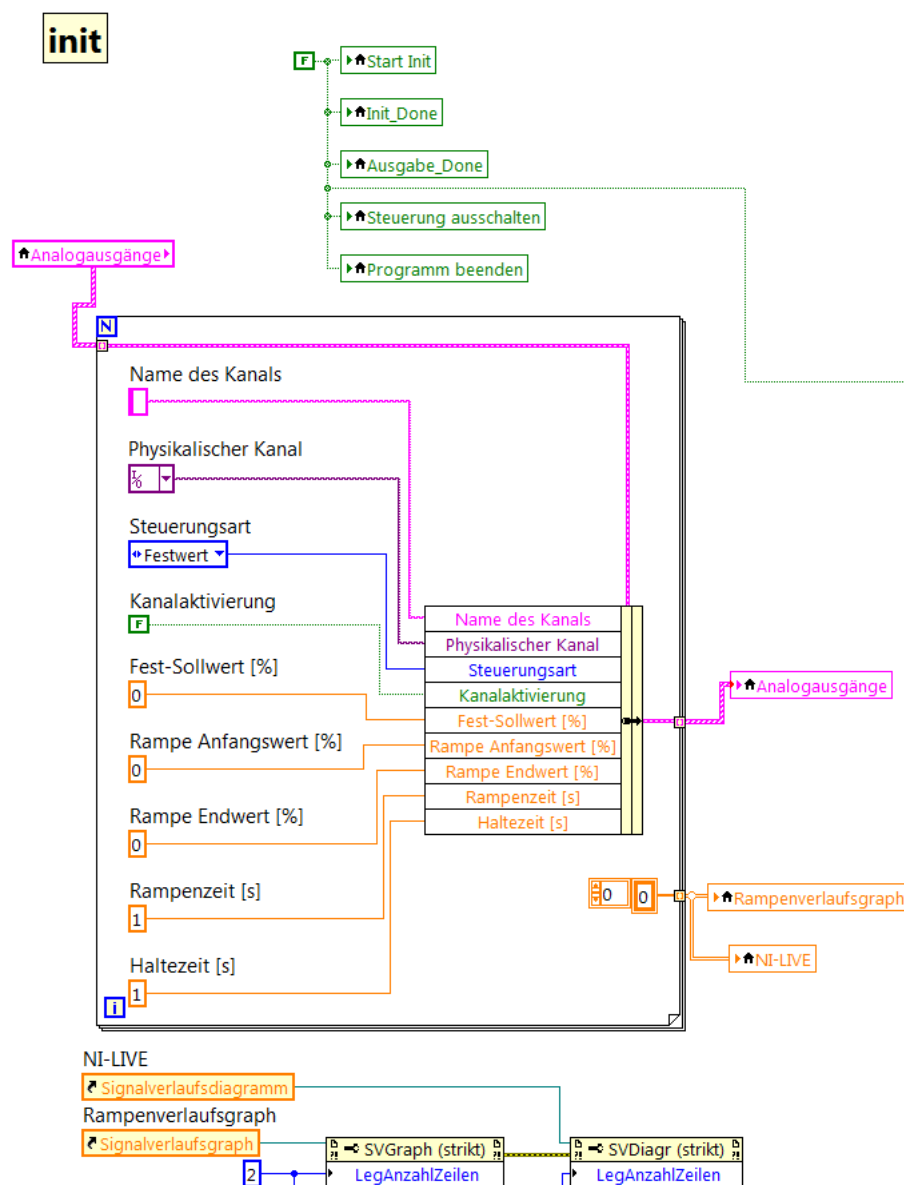


Abb. 5.16: Initialisierungs-Rahmen¹⁹ des Programms *PV1710_Ansteuerung.vi*

¹⁹ Struktur eines LabVIEW Programms, dass die Ablauffolge definiert

In der Producer-Schleife des Programms *PV1710_Ansteuerung.vi* sind fünf Ereignisse definiert (siehe Abb. 5.17). Jedes Ereignis hat unterschiedliche Befehle zur Folge, die in der Consumer-Schleife abgearbeitet werden. Beim Ereignis „Analogausgänge“ werden die *Anzeigen* des Frontpanels aktualisiert. Wird der Wert des *Buttons* „Start Init“ durch ein Mausklick geändert, erfolgt die Initialisierung der Hardware (NI 9263 AO-Modul) sowie eine Nutzerabfrage, ob das Rastmoment der Hysteresebremse entfernt werden soll (siehe Abschnitt 4.2). Das Ereignis „Start Ausgabe“ erzeugt bei einem Mausklick auf den *Button* „Ausgabe Aktualisieren“ den Arbeitsauftrag die Ausgabewerte zu (über)schreiben. Zu dem Arbeitsauftrag, der im Ereignis „Steuerung ausschalten“ erstellt wird, gehört es, die Hardware sowie die Anzeigen zu resettet.

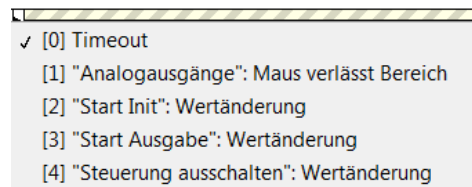


Abb. 5.17: Ereignisse der Producer-Schleife des Programms *PV1710_Ansteuerung.vi*

Die Hardware-Initialisierung findet in der Consumer-Schleife in dem Ereignis „HW Init“ statt (siehe Abb. 5.18). Hier wird ein Task²⁰ erzeugt (lila). Mit den Werten der *Eingabe* und dem Sub VI²¹ „DAQmx – Kanal erzeugen (AO-Spannung – Einfach)“ werden die entsprechenden Kanäle zur Spannungserzeugung erstellt. Im Anschluss legt das Sub VI „DAQmx – Timing (Sample-Takt)“ die Frequenz des Sample-Takts (100 Hz) und die Anzahl der zu erzeugenden Samples (20000) fest.

²⁰ Messprojekt, für das bestimmte virtuelle Kanäle und Einstellungen festgelegt werden.

²¹ LabVIEW Unterprogramm oder Funktion welche im Programm aufgerufen werden kann.

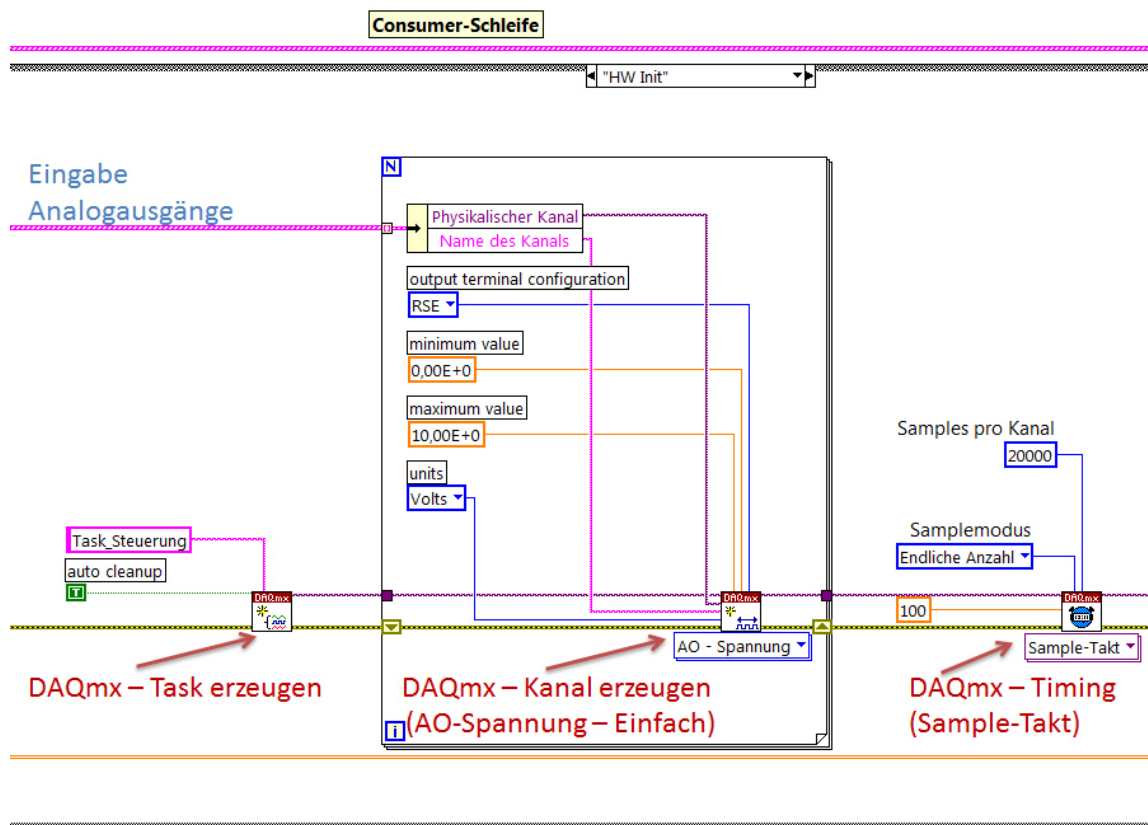


Abb. 5.18: Ereignis: "HW Init" des Programms PV1710_Ansteuerung.vi

In Abb. 5.19 sieht man, wie die *Eingabe* „Fest-Sollwert [%]“ als Ausgangsspannung des entsprechenden Kanals geschrieben wird. Dies geschieht nur, wenn die *Eingabe* „Festwert“ gewählt und die Kanalaktivierung auf „An“ gesetzt wurde.

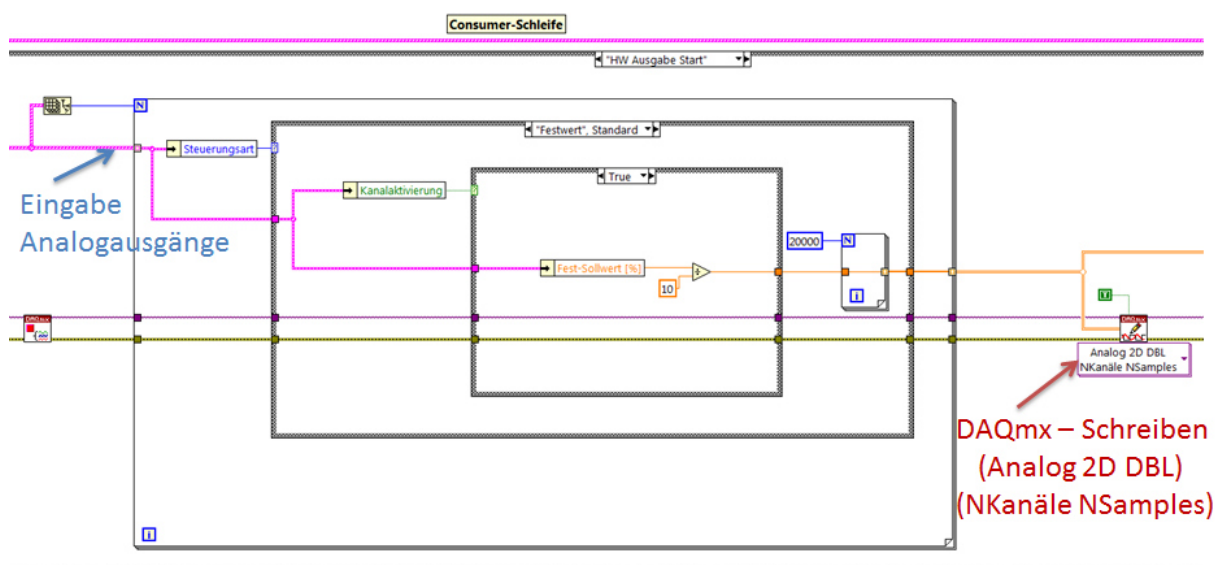


Abb. 5.19: Schreiben von "Festwert" in Programm PV1710_Ansteuerung.vi

Wird als Steuerungsart der *Eingabe* „Rampe“ gewählt (siehe Abb. 5.20), erzeugt das Sub VI „Rampe erzeugen“ mit Hilfe der Werte: „Rampe Anfangswert [%]“, „Rampe Endwert [%]“, „Rampenzeit [s]“ und „Haltezeit [s]“ eine Rampe, welche anschließend als Ausgangsspannung des entsprechenden Kanals geschrieben wird. Das Sub VI *Rampe erzeugen* ist selbst programmiert und das dazugehörige Blockdiagramm ist in Abb. 9.1 im Anhang zu finden.

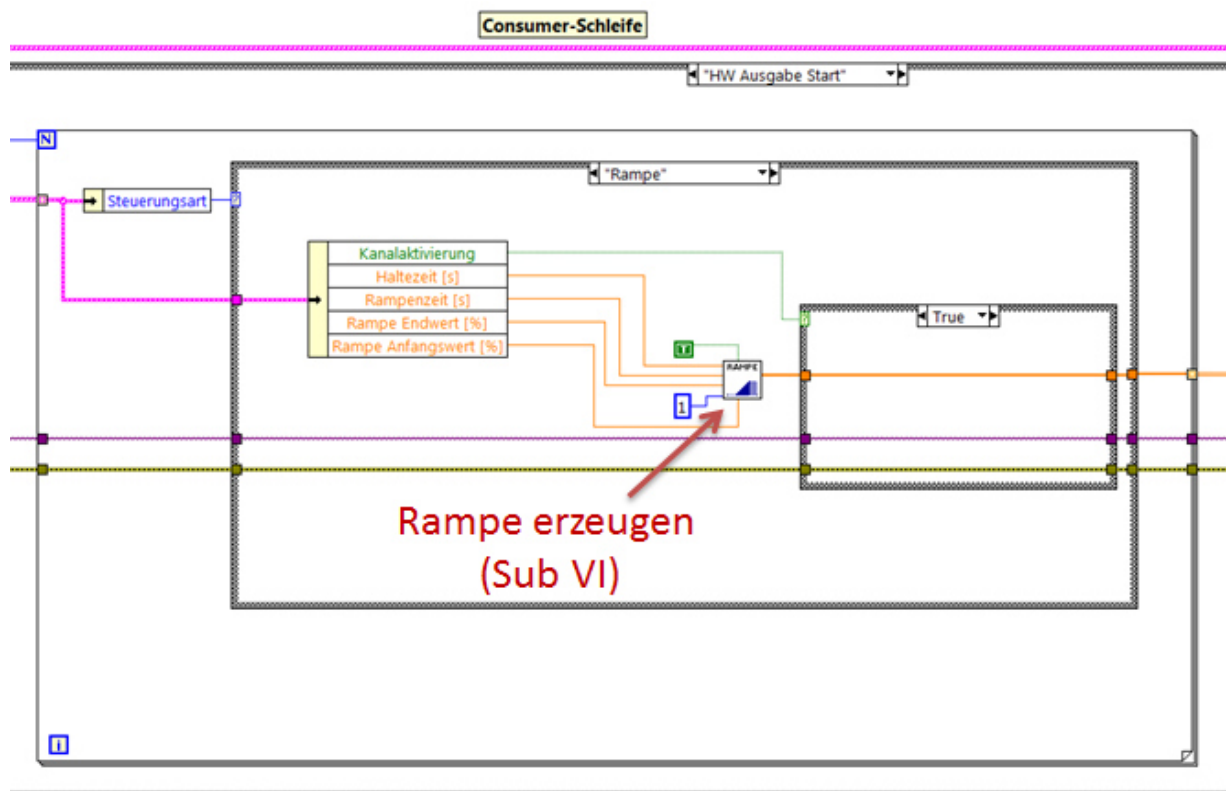


Abb. 5.20: Schreiben von "Rampe" in Programm PV1710_Ansteuerung.vi

5.3.2 Bedienung der Software

In diesem Abschnitt wird näher auf die Bedienung und Funktionen des ausführbaren Programms *PV1710_Ansteuerung.exe* eingegangen. Wird das Programm gestartet, öffnet sich die Bedienoberfläche (siehe auch Abb. 5.15). Alle *Buttons*, mit denen die Ausgabe initialisiert, aktualisiert, gestoppt sowie das Programm beendet werden kann, sind rot markiert. Die *Anzeigen* (grün) geben die Ausgabewerte wieder und zeigen an, in welchem Zustand sich das Programm befindet (Init abgeschlossen / Ausgabe Aktiv). Über die *Eingabe* kann man einstellen, welcher Kanal welches Ausgangssignal annehmen soll. Man kann zwischen „Festwert“ (konstante Ausgangs-

spannung) und „Rampe“ wählen. Die Rampe lässt sich durch „Rampe Anfangswert [%]“, „Rampe Endwert [%]“, „Rampenzeit [s]“ und „Haltezeit [s]“ definieren.

Zu Beginn müssen die Analogausgänge des NI 9263 AO-Modul konfiguriert werden. Dies wird über die *Eingabe* getan. Wenn das NI Modul korrekt angeschlossen wurde, lassen sich die Ausgänge unter „Physikalischer Kanal“ auswählen. Für die Initialisierung ist es zwingend notwendig, dass die Felder „Name des Kanals“ und „Physikalischer Kanal“ ausgewählt sind (siehe Abb. 5.21)!

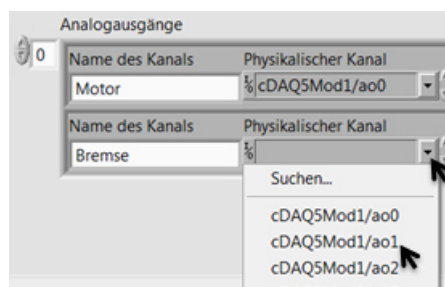


Abb. 5.21: Definition des Kanals im Programm PV1710_Ansteuerung.exe

Per Hardwaredefinition ist festgelegt, dass cDAQxMody/ao0 der Kanal zur Motoransteuerung ist, während cDAQxMody/ao1 der Kanal zur Bremsenansteuerung ist. y ist hierbei die Position, an dem das Analogausgangs-Modul 9263 im cDAQ eingesteckt ist.

Nach der Konfiguration der Kanäle lässt sich das Modul mit der Bestätigung auf: „Start Init“ initialisieren. Wenn kein Fehler aufgetreten ist, wird der Nutzer gefragt, ob das Rastmoment der Hysteresebremse entfernt werden soll (siehe Abb. 5.22).

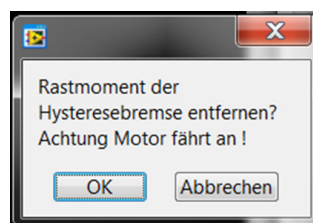


Abb. 5.22: Option zur Entfernung des Rastmoments im Programm PV1710_Ansteuerung.exe

Nach der Entfernung des Rastmoments der Bremse können Motor und Bremse entweder mit einem konstanten Sollwert oder mit einer Rampenfunktion angesteuert werden. Die Rampen- sowie Haltezeit sind auf max. 100 s begrenzt. Der Verlauf der Ansteuerungssignale wird auf der *Anzeige*: „Vorschau: Rampenverlauf“ angezeigt (siehe Abb. 5.23). Zur Aktivierung des Kanals muss die „Kanalaktivierung“ auf „An“ gesetzt werden.

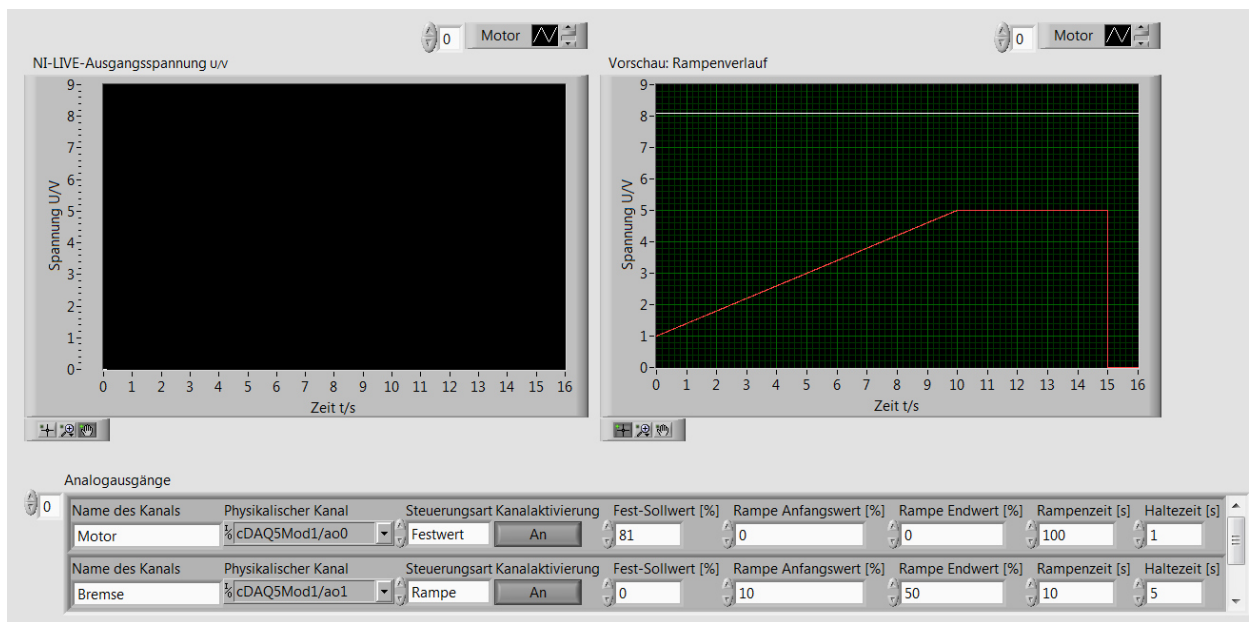


Abb. 5.23: Beispiel für Eingabewerte im Programm PV1710_Ansteuerung.exe

Nach jeder Änderung der *Analogausgänge* muss dies mit „Ausgabe Aktualisieren“ bestätigt werden. Auf der *Anzeige*: „NI-LIVE-Ausgangsspannung U/V“ kann die aktuelle Ausgabe des NI-Moduls verfolgt werden (siehe Abb. 5.24). Mit „Steuerung ausschalten“ kann die Ausgabe jederzeit gestoppt werden. Um das Programm zu schließen, muss man auf den *Button* „Programm beenden“ klicken.



Abb. 5.24: Ausgabe der eingestellten Werte im Programm PV1710_Ansteuerung.exe

6 Laborversuch

In diesem Kapitel wird der Laborversuch, der zur Einarbeitung der Auszubildenden in den Bereich der Mess- und Steuerungstechnik dient, näher betrachtet. Dabei werden die Zielgruppe, das Ziel des Laborversuchs sowie der Inhalt des Versuchs aus didaktischer Sicht beschrieben.

6.1 Zielgruppe des Laborversuchs

Zur Zielgruppe des Laborversuchs gehören in erster Linie Auszubildende der Firma AUMA. Genauer formuliert: Auszubildende, die eine duale Ausbildung zur Elektronikerin / zum Elektroniker für Betriebstechnik sowie zur Industriemechanikerin / zum Industriemechaniker absolvieren. In der Regel durchläuft jede/r Auszubildende in diesen Ausbildungsberufen die Abteilung *Testing*. In den meisten Fällen sind die Auszubildenden, wenn sie in die Abteilung kommen, im zweiten oder dritten Ausbildungsjahr und können die Mitarbeiter der Abteilung *Testing* produktiv unterstützen. Die Unterrichtsform des Blockunterrichts an der Berufsschule bietet die Möglichkeit, dass sich die Auszubildenden während der betrieblichen Phase über einen längeren Zeitraum mit einem Thema oder einem Projekt auseinandersetzen können. Zur besseren Lesbarkeit werden in den weiteren Abschnitten die Berufsbezeichnungen nur in der männlichen Form ausgeschrieben. Dies soll keineswegs eine Beschränkung auf das Geschlecht der Auszubildenden sein!

6.1.1 Bezug auf Ausbildungsrahmenplan und Rahmenlehrplan

Neben den Anforderungen an die Versuchsanleitung (siehe Abschnitt 3.6) soll im folgenden Abschnitt auch auf den Bezug zwischen dem Laborversuch und den jeweiligen Ausbildungsrahmenplänen²² sowie Rahmenlehrplänen²³ eingegangen werden.

Im Rahmenlehrplan für den Ausbildungsgang „Elektroniker für Betriebstechnik“ findet man in mehreren Lernfeldern Inhaltsangaben bzw. Kompetenzbeschreibungen, die dem vorliegenden Laborversuch zugeordnet werden können. Im Lernfeld 1: „Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen“ steht, dass die Auszubildenden im Stande sein sollen, elektrische Größen [wie Spannungen und Ströme] zu messen, zu bewerten und zu dokumentieren. Zeitlich parallel zum ersten Ausbildungsjahr sollen die Auszubildenden im Betrieb die Kern- und Fach-

²² Anleitung zur sachlichen und zeitlichen Gliederung der Berufsausbildung (vom: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie).

²³ Bildungsplan für die Berufsschule (vom: Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg).

qualifikation zum Auswählen verschiedener Messgeräte, Berechnen elektrischer Größen und das Prüfen von Baugruppen vermittelt bekommen [15,16].

Sind die Auszubildenden im zweiten Ausbildungsjahr, werden im Lernfeld 8: „Antriebssysteme auswählen und integrieren“ die Ziele formuliert, dass die Auszubildenden elektrische Antriebe prüfen und Betriebswerte rechnergestützt dokumentieren können. Im Ausbildungsrahmenplan ist für diesen Zeitraum unter anderem die Tätigkeit beschrieben, dass die Lernenden das Prüfen von Sensoren und Aktoren beherrschen. Eine weitere Niveausteigerung ist in Lernfeld 10: „Energie-technische Anlagen errichten und in Stand halten“ sowie unter der Fachqualifikation des dritten Ausbildungsjahrs im Ausbildungsrahmenplan zu erkennen. Hier werden die Inhalte: „Verarbeitung und Auswertung von Messwerten“ sowie „Interpretation von Datenprotokollen“ genannt [15,16].

Betrachtet man den Rahmenlehrplan bzw. Ausbildungsrahmenplan für die Ausbildung zum „Industriemechaniker“, sind dort einige Parallelen, aber auch Unterschiede zu denen der Elektroniker für Betriebstechnik zu finden. Im Lernfeld 3: „Herstellen von einfachen Baugruppen“ wird die Berechnung von Kräften und Drehmoment behandelt, außerdem sollen die Auszubildenden auch im ersten Ausbildungsjahr das Messen, Berechnen und die Gefahren von elektrischen Größen lernen (Lernfeld 4). Im Ausbildungsrahmenplan unter dem Teil des Ausbildungsberufsbild „Betriebliche und technische Kommunikation“ sollen auch in dieser Ausbildung der Umgang mit technischen Informationen und Unterlagen behandelt werden. [15,17].

Im zweiten Ausbildungsjahr lernen die Berufsschüler in Lernfeld 6: „Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme“ Sensoren kennen. Außerdem ist im Betrieb in diesem Jahr auch vorgesehen, elektrische Baugruppen mit Kleinspannungen zu prüfen. Darüber hinaus lernen die Auszubildenden im dritten Ausbildungsjahr im Lernfeld 10: „Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen“ elektrische Antriebe bezüglich ihrer mechanischen und elektrischen Kenngrößen sowie deren Kennlinien kennen. Eine weitere Niveausteigerung in Bezug auf das Arbeiten mit Dokumenten wird im Ausbildungsrahmenplan gefordert: „Informationen auch aus englischsprachigen technischen Unterlagen oder Dateien entnehmen“ [15,17].

6.2 Ziel des Laborversuchs

In dem Laborversuch werden praxisorientierte Kenntnisse rund um das Thema Gleichstrommaschinen vermittelt. Außerdem sollen die Ansteuerungs- und Messfunktionen von NI-DAQ-Modulen angewandt werden. Hierbei wird auch der Umgang mit dem Programm *MessVS* erlernt. Die Lerninhalte des Versuchs sind die Ermittlung von Motorkennlinien, Untersuchung von Temperaturverhalten sowie die Beurteilung von Leistungs- und Wirkungsgradverhalten des Prüfstands. Zur Aufnahme von Motorkennlinien werden Rampenfunktionen eingesetzt.

6.3 Inhalt des Laborversuchs

Für den Laborversuch wird ein Dokument erstellt, welches folgende wesentliche Punkte beinhaltet: Lernziel, Vorbereitung, Materialliste, Sicherheitshinweise, Software-Anleitung sowie Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung. In der Materialliste finden die Auszubildenden alle wesentlichen Komponenten des Prüfstands PV1710 sowie das benötigte Zubehör. Als Hilfestellung wird dort auf relevante Datenblätter verwiesen. Darüber hinaus sind zur einfacheren Identifizierung für manche Einzelteile Fotografien beigelegt. In dem Abschnitt „Software-Anleitung“ wird auf die Bedienung von den Programmen *MessVS* und der Ansteuerungssoftware *PV1710_Ansteuerung.exe* eingegangen. Die Punkte „Versuchsaufbau“ und „Versuchsdurchführung“ sind für acht unterschiedliche Teilversuche ausgeführt. Die Teilversuche können unabhängig voneinander bearbeitet werden. Jedoch wird eine chronologische Bearbeitung empfohlen, da der Arbeitsumfang sowie das Anforderungsniveau an die Auszubildenden mit jedem Teilversuch ansteigen.

Im ersten Teilversuch geht es darum, die Komponenten des Motoren-Bremsprüfstands kennen zu lernen und deren Kenndaten mit Hilfe verschiedener Datenblätter zu ermitteln. Der zweite Versuchsteil beschäftigt sich mit der Spannungsmessung am Gleichstrommotor und der Bedienung der Ansteuerungssoftware. Bei diesem Teilversuch und allen weiteren steht den Auszubildenden ein Schaltplan sowie ein bildlicher Verdrahtungsplan (siehe Abb. 6.1) zur Verfügung.

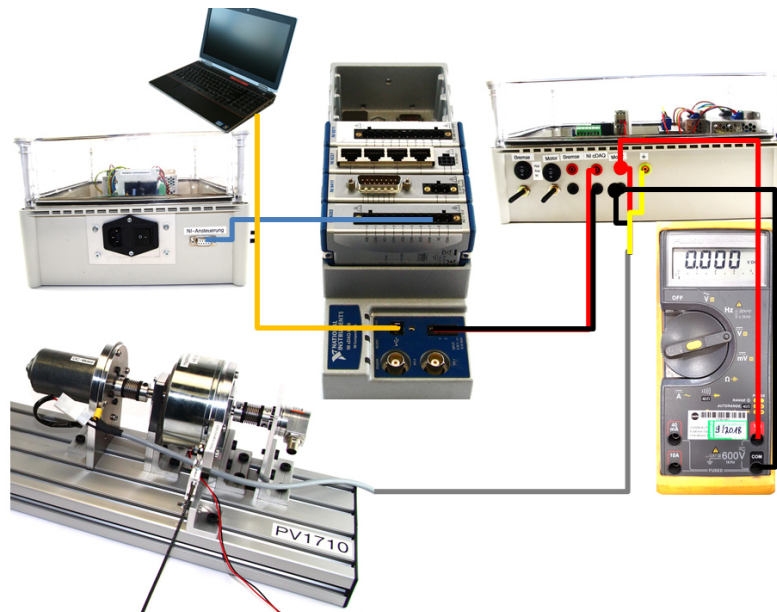


Abb. 6.1: Bildlicher Verdrahtungsplan für den Versuch zur Motorspannungsmessung

Alle Messwerte sollen in den folgenden Teilversuchen mit Excel ausgewertet und grafisch aufbereitet werden. In dem Teilversuch zur Motorspannungsmessung werden verschiedene Sollwerte über die Ansteuerungssoftware bzw. manuell über das Potentiometer eingestellt. Die sich darauf einstellende Motorspannung wird aus Gründen der didaktischen Reduktion mit einem Multimeter gemessen. Eine mögliche Erkenntnis aus diesem Versuch könnte sein, dass der Motor sich bei steigender Motorspannung „schneller“ dreht.

Im anschließenden Teilversuch wird der Gleichstrommotor belastet. Hierbei wird der Motorstrom I_{Motor} mit einem Multimeter gemessen. Es werden dabei unterschiedliche Arbeitspunkte angesteuert. Die Auszubildenden könnten aus diesem Versuch die Erkenntnis ziehen, dass der Motor sich bei steigender Belastung „langsamer“ dreht und der Motorstrom I_{Motor} steigt.

Der vierte Teilversuch beschäftigt sich mit dem Drehgeber und dessen Funktion zur Drehwinkelmessung. Im fünften Teilversuch wird der Kraftsensor als Möglichkeit zur Drehmomentmessung kennen gelernt. Hierbei sollen die Auszubildenden auch das DMS-Prinzip erklären können, um zu verstehen, wie der Kraftsensor funktioniert.

Im sechsten Teilversuch lernen die Auszubildenden die Methode der Temperaturmessung kennen, die in der Abteilung *Testing* angewandt wird. Hierbei besteht die Aufgabe darin, sich die entsprechenden Thermoelemente inkl. Thermoleitungen zu beschaffen. Außerdem müssen die Lernenden eigenverantwortlich die Position der Thermoelemente sowie Art und Weise der Befestigung am Prüfstand wählen. Während der Versuchsdurchführung sollen für je zwei Arbeitspunkte ein Temperaturverlauf von Motor und Bremse aufgenommen werden. Hierbei sollen Motor und Bremse sich von der Umgebungstemperatur v_{Raum} bis zur Beharrungstemperatur v_{max} erhitzen und wieder abkühlen.

In den abschließenden zwei Teilversuchen werden die Messmethoden der vorangegangenen Teilversuche kombiniert. In Teilversuch sieben sollen für verschiedene Betriebsspannungen des Motors U_{Motor} Motorkennlinien – Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien – ermittelt werden. Hierzu wird die Rampenansteuerung genutzt. In Teilversuch acht werden aus den Messdaten Drehmoment des Motors M_{Motor} , Drehwinkel des Motors φ_{Motor} , Betriebsspannung des Motors U_{Motor} sowie der Motorstrom I_{Motor} , die abgegebene mechanische Leistung des Motors $P_{\text{ab,mech}}$, die aufgenommene elektrische Leistung des Motors $P_{\text{auf,el}}$ und dessen Wirkungsgrad μ_{Motor} beurteilt.

Genauere Details zum Inhalt der Versuchsanleitung siehe Anhang.

7 Ergebnis

Das Ergebnis der Bachelor-Thesis für die Firma AUMA, insbesondere für die Abteilung *Testing*, ist ein Motoren-Bremsprüfstand (siehe Abb. 7.1), der zur Einarbeitung von Auszubildenden eingesetzt werden kann. Mit dem ausgearbeiteten Laborversuch sowie der ausführlichen Anleitung ist es möglich, die Mitarbeiter der Abteilung *Testing* bei der Betreuung von Auszubildenden wesentlich zu entlasten. Außerdem können die Auszubildenden selbständig und handlungsorientiert viele Erkenntnisse über die Arbeit der Abteilung *Testing* gewinnen. Dieses Projekt stellt insgesamt eine Bereicherung in dem Bereich der betrieblichen Ausbildung bei der Firma AUMA dar.

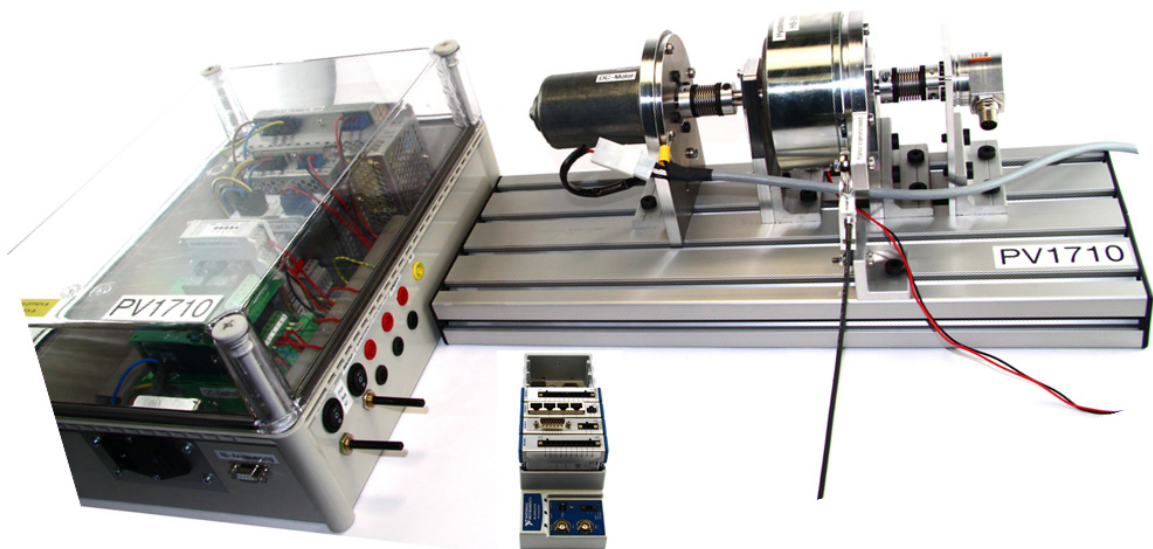


Abb. 7.1: Fertiger zusammengebauter Prüfstand für Auszubildenden

Zu Beginn der Thesis stand besonders der mechanische Aufbau des Prüfstands im Fokus. Erst während der Entwicklung wurde die Relevanz der Leistungselektronik sichtbar sowie dass eine Ansteuerungssoftware programmiert werden sollte. Diese Ansteuerungssoftware, mit der man auf einfache Art und Weise beliebig viele Analogausgänge von NI-Modulen ansteuern kann, steht nun zur Verfügung. Diese ermöglicht kurze Tests, bei denen ein konstanter Sollwert oder eine Rampenfunktion gefordert sind. Erste Tests zur Funktionsprüfung mit diesem Programm haben ergeben, dass der Prüfstand ordnungsgemäß funktioniert.

Bei den Funktionstests ist auch aufgefallen, dass die Hysteresebremse nur eine Ansteuerung von 35 % (siehe Abschnitt 5.3) benötigt, um den Gleichstrommotor in den Stillstand abzubremsen. Die Bremse erzeugt dabei ein Bremsmoment M_{Brems} von ca. 0,7 Nm. In diesem Punkt erreicht der eingesetzte DC-Drehzahlsteller seinen maximalen Strom von 10 A. Um eine Überhitzung zu

verhindern, wird die interne Strombegrenzung des DC-Drehzahlstellers auf 5 A eingestellt. Der Prüfling kann trotz dieser Einschränkung im Nennpunkt (Nennmoment $M_{\text{Motor,n}} = 0,2 \text{ Nm}$) betrieben werden.

Außerdem ist beim Inbetriebnehmen des Prüfstands aufgefallen, dass die Hysteresebremse aufgrund des funktionalen Aufbaus ein Bremsmoment M_{Brems} erzeugt, welches eine Welligkeit besitzt. Dies führt dazu, dass der Prüfstand in Schwingungen versetzt wird. Die schwingende Lagerung der Hysteresebremse (siehe Abschnitt 5.2.3.2) verstärkt diesen Effekt. Um die Schwingungen zu dämpfen wird der mechanische Aufbau eine Schaumstoff-Unterlage gestellt. Die Motorkennlinie kann trotzdem erstellt, hierzu werden bei der Auswertung der Messergebnisse mehrere Drehmomentwerte gemittelt. Eine Mittelung der Drehmomentmesswerte wäre auch mit dem Programm *MessVS* möglich. Um jedoch den Auszubildenden die Möglichkeit zu geben, die Messwerte kritisch zu beurteilen, wird auf diese Variante der Messwertmittelung verzichtet.

7.1 Ausblick

Um den Laborversuch zu evaluieren, muss dieser noch von einem Auszubildenden durchgeführt werden. Für diesen ersten Anwendungstest ist es wichtig, dass der Auszubildende die Aufgabenstellung bewertet und gegebenenfalls offene Fragen stellt sowie Probleme bei der Durchführung des Versuchs anmerkt. Aus diesen Erkenntnissen ist eine Überarbeitung des Laborversuchs denkbar.

Als mögliche Erweiterung des Laborversuchs besteht die Möglichkeit, das PWM-Signal der Motorspannung U_{Motor} mit dem Analogeingangsmodul NI 9221 AI-Modul zu messen. Hierbei könnten die Auszubildenden den Zusammenhang zwischen Einschaltdauer T_{ein} und Spannungseffektivwert U_{eff} untersuchen. Außerdem wäre es denkbar, einen Laborversuch zu entwickeln, bei dem der Motorstrom I_{Motor} mit Hilfe einer Strommesszange gemessen wird. Somit wäre eine kontinuierliche Strommessung über das Analogeingangsmodul NI 9215 AI-Modul möglich.

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung des Motoren-Bremsprüfstands ist der Einsatz bei entwicklungsbegleitenden Funktionstests von kleineren Motoren.

7.2 Persönliches Fazit

Meine persönliche Erfahrung in diesem Projekt ist durch einige neue Erkenntnisse bereichert worden. Bei der Entwicklung eines Prüfstands spielen viele verschiedene Faktoren aus dem Bereich der Mechatronik eine Rolle, die sich gegenseitig beeinflussen können. Hierbei war es stets wichtig, sich mit allen Beteiligten frühzeitig über die Anforderungen auszutauschen.

Beim Umgang mit einer grafischen Programmiersprache ist das äußere Erscheinen des Quellcodes essentiell für die Lesbarkeit. Mir ist bewusst geworden, wie viel Zeit es benötigt, eine Software zu erarbeiten, welche in rekursiven Schritten immer weiter verbessert wird. Des Weiteren konnte ich während meiner Arbeit bei der Firma AUMA wichtige Einblicke in die Installation von elektrischen Anlagen erhalten.

Abschließend kann ich sagen, dass ich mit dieser Abschlussarbeit alle Bereiche des Bachelor-Studiums Mechatronik^{plus} gleichermaßen abdecken sowie vertiefend anwenden konnte.

8 Literaturverzeichnis

- [1] AUMA Riester GmbH & Co. KG, „interne Bilddatenbank“, Müllheim, 2015.
- [2] A. Neudörfer, Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte: Methoden und systematische Lösungssammlungen zur EG-Maschinenrichtlinie, 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [3] DOGA S.A., „DOGA DRIVE SYSTEMS“, 2013. [Online]. Available: http://www.doga.es/images/stories/doga/catalogos/PDF/DOGA_DRIVE_SYSTEMS_17.pdf. [Zugriff am 01. Januar 2018].
- [4] EPH-elektronik Produktions- und Handelsgesellschaft mbH, „eph-elektronik :: Antriebstechnik“, 2016. [Online]. Available: https://eph-elektronik.de/fileadmin/downloads/bedienungsanleitungen/GS24S-xx-360_technische_Beschreibung_Z219-TB.pdf. [Zugriff am 02. Januar 2018].
- [5] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, „Hutschienen-Netzteil (DIN-Rail) WAGO 787-1732 24 V 10 A 240 W 1 x kaufen“, 2015. [Online]. Available: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1400000-1499999/001429837-da-01-de-WAGO_787_1732__1_PHASIG__DC_24_V__10_A.pdf. [Zugriff am 02. Januar 2018].
- [6] Magtrol GmbH, „Datenblätter - Magtrol GmbH“, 2017. [Online]. Available: http://www.magtrol.de/datenblatter/hb-mhb_de.pdf. [Zugriff am 02. Januar 2018].
- [7] Magtrol GmbH, „Datenblätter - Magtrol GmbH“, 2017. [Online]. Available: http://www.magtrol.de/datenblatter/vm8_de.pdf. [Zugriff am 02. Januar 2018].
- [8] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, „WAGO | Primär getaktete Stromversorgung (787-602)“, 2015. [Online]. Available: <https://www.wago.com/de/stromversorgungen/primaer-getaktete-stromversorgung/p/787-602#downloads-Accordion>. [Zugriff am 02. Januar 2018].

-
- [9] Kistler Holding AG, „Mini-Smart Drehmomentsensor | Produkte | Kistler,“ 2017. [Online]. Available:
<https://www.kistler.com/?type=669&fid=66907&model=document&callee=frontend>.
[Zugriff am 04. Januar 2018].
- [10] LORENZ MESSTECHNIK GmbH, „Drehmomentsensor, rotierend schleifringlos DR-2112 / DR-2412,“ [Online]. Available: http://www.lorenz-messtechnik.de/pdfdatbl/m/080174zh_dr-2112.pdf. [Zugriff am 04. Januar 2018].
- [11] ME-Meßsysteme GmbH, „KD40s S-Form Kraftsensor - ME-Systeme,“ 2018. [Online]. Available: https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=884&lang=de. [Zugriff am 04. Januar 2018].
- [12] Fritz Kübler GmbH, „Kübler Group,“ 2017. [Online]. Available:
https://www.kuebler.com/k2016/de/pdf?3610-3620_de.pdf. [Zugriff am 05. Januar 2018].
- [13] Electronic Sensor GmbH, „Thermoelemente IEC 584-3,“ 2011. [Online]. Available:
www.electronic-sensor.de/attachments/article/126/ti-1_technische-daten-fuer-thermoelemente-iec-584-3.pdf. [Zugriff am 15. Januar 2018].
- [14] R+W Antriebselemente GmbH, „Miniaturbalgekupplungen : R+W Kupplungen,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.rw-kupplungen.de/produkte/praezisionskupplungen/miniaturbalgekupplungen/>. [Zugriff am 08. Januar 2018].
- [15] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, „Landesinstitut für Schulentwicklung (LS) - Ausbildungsberufe,“ 2003. [Online]. Available: <https://www.lsbw.de/Lde/Startseite/Bildungsplaene/ausbildungsberufe>. [Zugriff am 18. Januar 2018].
- [16] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, „Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Elektroberufen,“ 2007. [Online]. Available:
https://www.bibb.de/tools/berufesuche/index.php/regulation/industrielle_elektroberufe_2007.pdf. [Zugriff am 18. Januar 2018].
-

-
- [17] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, „Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen,“ 2007. [Online]. Available: https://www.bibb.de/tools/berufesuche/index.php/regulation/metallberufe_2007.pdf. [Zugriff am 18. Januar 2018].

9 Anhang

Tab. 4: Marktanalyse zu möglichen Bremsen

	Wirbelstrom- bremse	Magnetpulver- bremse	Hysteresebremse	Servomotor als Bremsen
Vorteile		drehzahl- unabhängig; geringes Massen- trägheitsmoment	Wiederholgenau- igkeit, drehzahlun- abhängig, kein Verschleiß	auch als treibende Last einsetzbar
Nachteile	Drehmoment erst bei hohen Dreh- zahlen; für DC-Motor un- geeignet	geringer Ver- schleiß; relativ hohes Restmoment; externe Kühlung erforderlich	sprunghafte Belas- tung schwer reali- sierbar; Rastmoment (kann aber entfernt werden)	Aufwendige An- steuerung; Betriebsspannung: 230 V AC; komplexe Funkti- onsart
Hersteller	nicht untersucht	Mayr, Magneta, Liedtke, Magtrol	Kern, Mobac, Tridelta, Magtrol	Panasonic, u.a.
Preislage	nicht untersucht	767 € - 1300 €	542 € - 870 €	(540 € - 680 €) Preis ohne erfor- derliche Leis- tungselektronik

Rampe erzeugen (Sub VI)

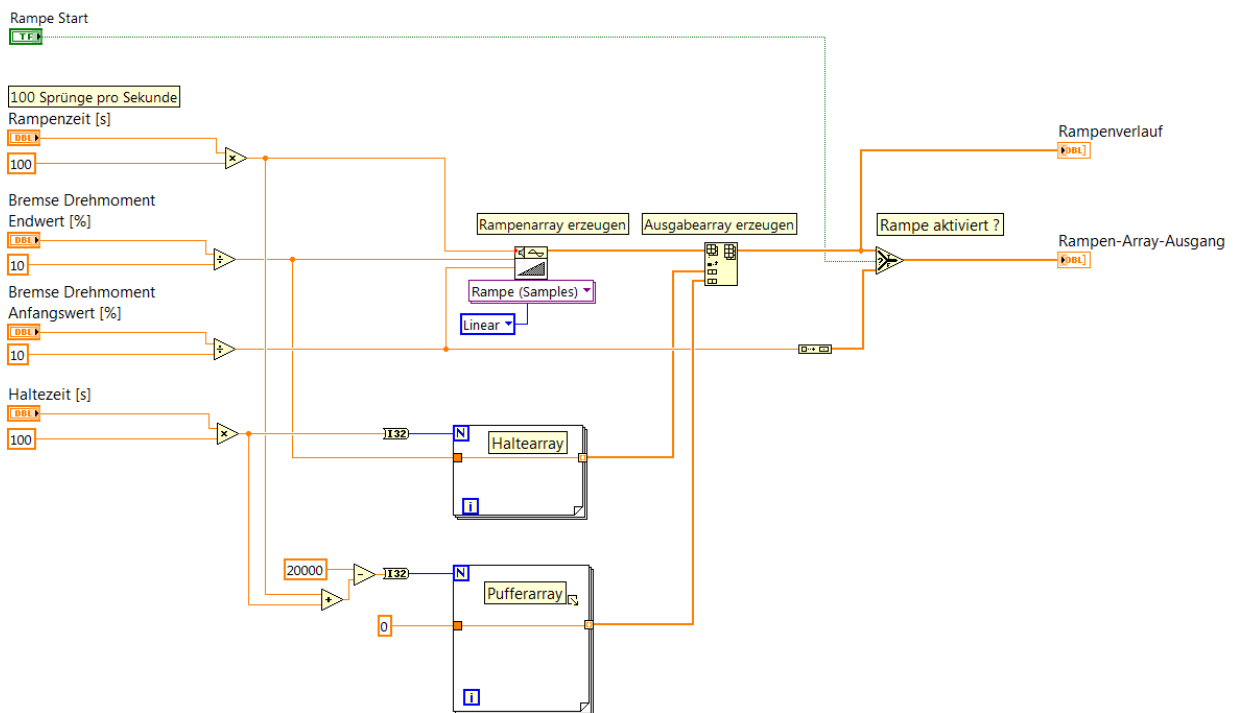


Abb. 9.1: Rampe erzeugen (Sub VI) in Programm PV1710_Ansteuerung.vi

5 Versuch: Kennwerte ermitteln

Ermitteln Sie folgende Kennwerte mit Hilfe der Ihnen zur Verfügung stehenden Dokumenten:

Tab. 3: Datenblatt-Kennwerte der Komponenten

Komponente	Kennwert	Einheit
Gleichstrommaschine 162.4102.30.00	Nennspannung $U_{\text{Motor},n}$	V
	Nennstrom $I_{\text{Motor},n}$	A
	Nennmoment $M_{\text{Motor},n}$	Nm
	Nenn Drehzahl $n_{\text{Motor},n}$	min ⁻¹
Hysteresebremse HB-250M-2	Nennbremsmoment $M_{\text{Brems},n}$	Nm
	Nennstrom $I_{\text{Brems},n}$	mA
	dauerhafte mechanische Leistung P_{mech}	W
Kraftsensor KD40s ±20N	Nennkraft F_n	N
	Gebrauchskraft F_{max}	N
Drehgeber 8.3610.3324.0360	maximalen Drehzahl n_{max}	min ⁻¹
	Impulse pro Umdrehung	

Dieser Versuch dient dazu, sich mit den Datenblättern auseinanderzusetzen und die Komponenten des Prüfstands PV1710 kennen zu lernen.

Die Prüfergebnisse sollen in einem Dokument zusammengefasst werden (siehe Anlage: 2), speichern Sie die Datei mit dem Namen: VBxxxx_Motoren-Bremsprüfstand_PV1710_V01.docx ab.

Anlage: 2_Versuchsbericht: Vorlage_fuer_Versuchergebnisse_Laborversuch_v1.docx

Abb. 9.2: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 1

6 Versuch: Messung der Motorspannung

In der Abteilung TST muss häufig eine Spannung gemessen werden. Um diese Methode zu lernen, soll in diesem Versuch die Motorspannung, des Prüfstands PV1710, untersucht werden. Außerdem sollen erste Erfahrungen mit dem Programm **PV1710_Ansteuerung.exe** gemacht werden. Sie sollen dabei u.a. einen Spannungsverlauf über 100 Sekunden aufnehmen. Als Messmittel wird hierbei ein Multimeter verwendet.

6.1 Versuchsaufbau

Verbinden Sie das NI cDAQ-9178 mit Hilfe des NI cDAQ-USB-Kabel mit Ihrem PC. Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan: **Schaltplan_PV1710.pdf** auf. Sie müssen dabei nur die folgenden Komponenten beachten (Seite 1 des Schaltplans):

Tab. 4: Komponenten und Zubehör von PV1710 für Versuch: Messung der Motorspannung

Komponente	Datenblatt	Stückzahl
Prüfling Gleichstrommaschine 162.4102.30.00	Datenblatt_DC_MOTOR_DO_162_4102_30_00.pdf	1 Stk.
„Motor“ Leitung		1 Stk.
„NI-Ansteuerung“ Leitung		1 Stk.
„NI cDAQ“ Leitung		1 Stk.
Zubehör:		
NI cDAQ-9178		1 Stk.
NI 9263 AO-Modul	Datenblatt_NI9263_AO-Modul.pdf	1 Stk.
Multimeter	Datenblatt_Multimeter_Fluke_76.pdf	1 Stk.
NI cDAQ-USB-Kabel		1 Stk.
Messleitung		2 Stk.
Kaltgerätekabel		1 Stk.

Zur Kontrolle Ihrer aufgebauten Schaltung sehen Sie sich nachfolgende Bilder des Aufbaus an!

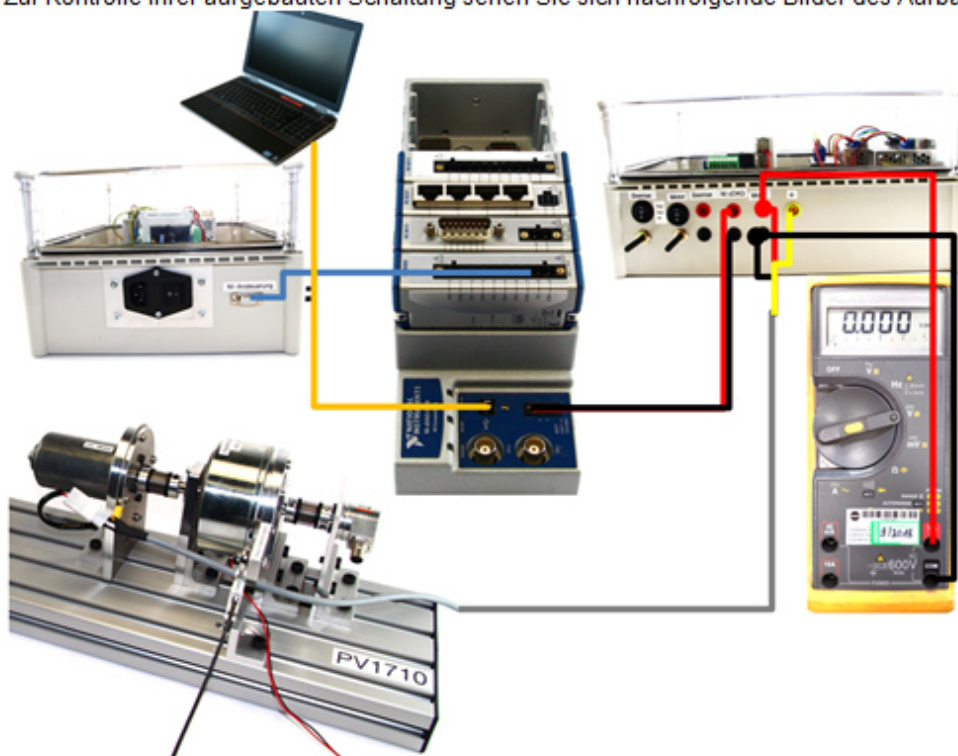


Abb. 10: Versuchsaufbau: Messung der Motorspannung

Abb. 9.3: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 2 (S. 1)

6.2 Versuchsdurchführung

Messen Sie mit Hilfe des Multimeters die Motorspannung (in Parallelschaltung).

Der Motor soll dabei jeweils vom Stillstand auf die maximale Drehzahl beschleunigt werden. Steuern Sie den Motor zuerst mit dem Potentiometer an, danach wiederholen Sie die Messung und steuern den Motor über das Programm: **PV1710_Ansteuerung.exe**.

Stellen Sie folgende Sollwerte für den Motor ein und führen Sie die Messung durch:

Festwert:

a) Fest-Sollwert [%]: 30

b) Fest-Sollwert [%]: 60

c) Fest-Sollwert [%]: 90

Rampe:

d) Rampe Anfangswert [%]: 0 Rampe Endwert [%]: 100 Rampenzeit [s]: 100 Haltezeit [s]: 5

Notieren Sie hierbei alle 10 Sekunden den Spannungswert.

Anschließend dokumentieren Sie die Messdaten in Excel und erstellen für a) bis d) jeweils ein Diagramm (Achsenbeschriftung wie in Abb. 11).

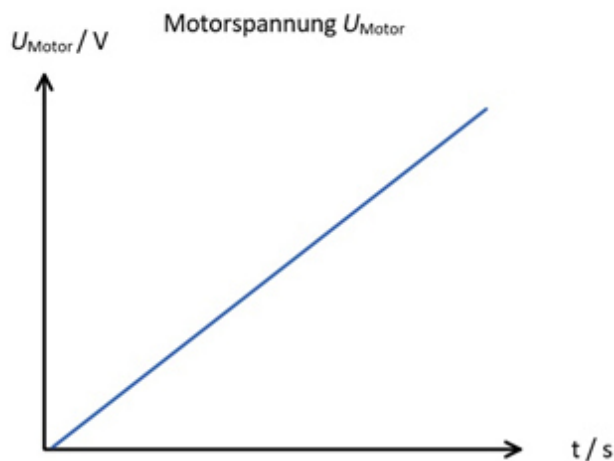


Abb. 11: Beispiel für Diagramm der Motorspannung

Die Prüfergebnisse sollen in einem Dokument zusammengefasst werden (siehe Anlage: 2), speichern Sie die Datei mit dem Namen: VBxxxx_Motoren-Bremsprüfstand_PV1710_V01.docx ab. Beschreiben Sie hierbei was Sie beobachtet haben und bewerten Sie die Ergebnisse.

Abb. 9.4: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 2 (S. 2)

12 Versuch: Beurteilung der Motorleistung

Um ein Antrieb zu bewerten, muss in der Abteilung TST häufig eine Motorleistungskennlinien ermittelt werden. Deshalb soll in diesem Versuch die abgegebene (mechanische) sowie die aufgenommene (elektrische) Leistung – in Abhängigkeit vom Drehmoment – des Motors, des Prüfstands PV1710, untersucht werden.

12.1 Versuchsaufbau

Verbinden Sie das NI cDAQ-9178 mit Hilfe des NI cDAQ-USB-Kabel mit Ihrem PC.

Bauen Sie die Schaltung nach dem Schaltplan: **Schaltplan_PV1710.pdf** auf. Sie müssen dabei nur die folgenden Komponenten beachten (Seite 1 des Schaltplans):

Tab. 10: Komponenten und Zubehör von PV1710 für Versuch: Beurteilung der Motorleistung

Komponente	Datenblatt	Stückzahl
Prüfling Gleichstrommaschine 162.4102.30.00	Datenblatt_DC_MOTOR_DO_162_4102_30_00.pdf	1 Stk.
Hysteresebremse HB-250M-2	Datenblatt_Hysteresebremse_HB-250M-2.pdf	1 Stk.
Kraftsensor KD40s ±20N	Datenblatt_Kraftsensor_KD40s_±20N.pdf	1 Stk.
Drehgeber 8.3610.3324.0360	Datenblatt_Drehgeber_8.3610.3324.0360.pdf	1 Stk.
„Motor“ Leitung		1 Stk.
„NI-Ansteuerung“ Leitung		1 Stk.
„NI cDAQ“ Leitung		1 Stk.
Zubehör:		
Multimeter Fluke 76	Datenblatt_Multimeter_Fluke_76.pdf	2 Stk.
NI cDAQ-9178		1 Stk.
NI 9263 AO-Modul	Datenblatt_NI9263_AO-Modul.pdf	1 Stk.
NI 9237 DMS-Modul	Datenblatt_NI9237_DMS-Modul.pdf	1 Stk.
NI 9411 DI-Modul	Datenblatt_NI9411_DI-Modul.pdf	1 Stk.
„NI RJ-50 PIGTAIL“ Leitung		1 Stk.
„Kühler Inkr.“ Leitung		1 Stk.
NI cDAQ-USB-Kabel		1 Stk.
Messleitung		4 Stk.
„DI-Modul“-Versorgungskabel		1 Stk.
Kaltgerätekabel		1 Stk.

Zur Kontrolle Ihrer aufgebauten Schaltung sehen Sie sich nachfolgende Bilder des Aufbaus an!

Abb. 9.5: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 1)

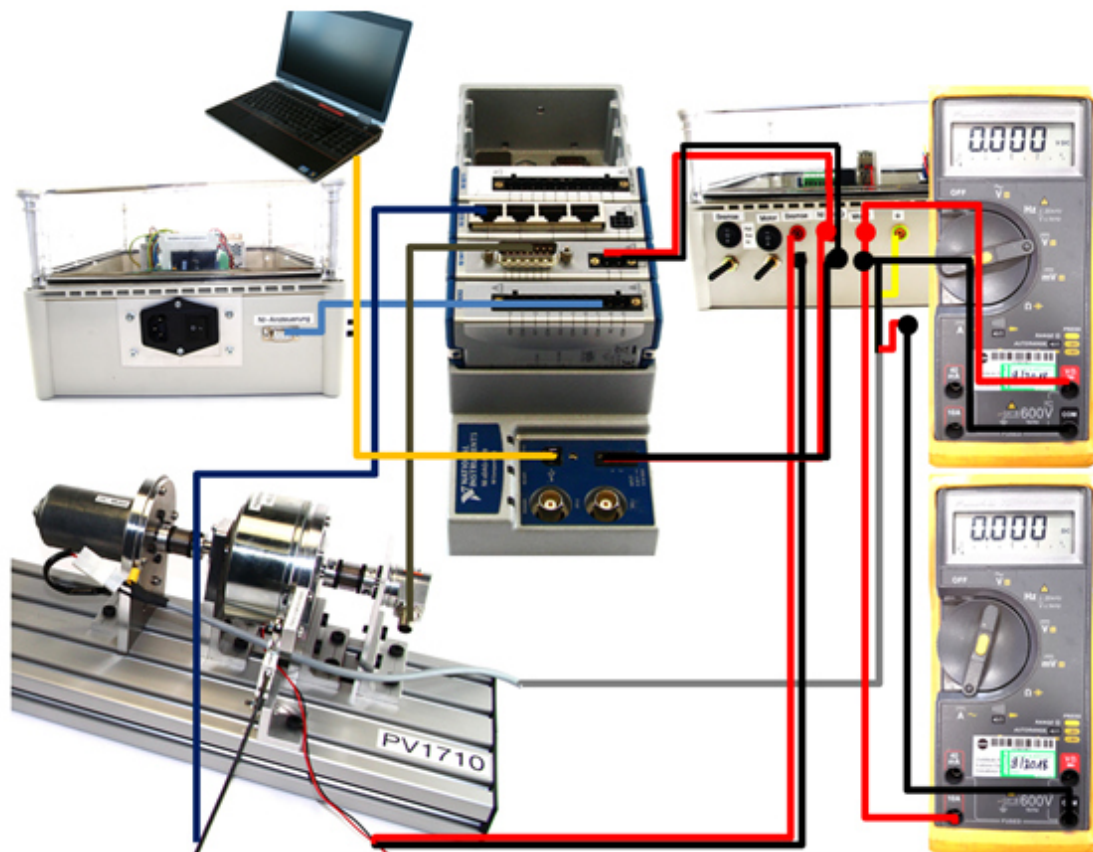


Abb. 22: Versuchsaufbau: Ermittlung und Beurteilung der Motorleistung

12.2 Versuchsdurchführung

Nehmen Sie mit Hilfe des Programms MessVS das Drehmoment und den Drehwinkel auf. Während Motorspannung sowie -strom mit dem Multimeter gemessen werden. Beachten Sie hierbei die Angaben zur Mindestabtastrate des DMS-Moduls (siehe Datenblatt). Aus diesem Grund stellen Sie die „Mittlung über“ (MessVS) auf 20 ein. Dies wird zur Folge haben, dass in jedem Abtastintervall ein Messwert geschrieben wird, der sich aus 20 Einzelmesswerten gemittelt zusammensetzt.

Stellen Sie sicher, dass das Rastmoment der Hysteresebremse entfernt ist, bevor sie die weiteren Schritte ausführen. Tipp: Ist das Rastmoment entfernt lässt sich die Welle der Bremse von Hand leicht drehen. Zur Entfernung des Rastmoments befolgen Sie die Schritte, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Steuern Sie Motor und Bremse über das Programm: **PV1710_Ansteuerung.exe**. Steuern Sie den Motor so an, dass sich im Leerlauf eine Motorspannung $U_{\text{Motor}} = 24 \text{ V}$ einstellt.

Nach dem der Festwert des Motors eingestellt soll die Bremse den Motor bis zu 26 % (1 %-Schritten) belasten. Außerdem soll eine Messung, bei der der Nennstrom des Motors fließt, durchgeführt werden (Entsprechender Festwert ist zuvor zu ermitteln)

Messen Sie Motorspannung U_{Motor} , Motorstrom I_{Motor} , Motordrehmoment M_{Motor} sowie Motordrehwinkel φ_{Motor} .

Anschließend dokumentieren Sie die Messdaten in Excel und erstellen ein Diagramm (Achsenbeschriftung wie in Abb. 23).

Berechnen Sie hierfür aus den Messwerten: Motordrehzahl n_{Motor} , aufgenommene Leistung $P_{\text{Motor,el}}$ und abgegebene Leistung $P_{\text{Motor,mech}}$ des Motors!

Abb. 9.6: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 2)

Hierbei gelten folgende Gleichungen:

$$P_{\text{Motor,el}} = U_{\text{Motor}} \cdot I_{\text{Motor}} \quad (\text{Gl. 12.1})$$

$P_{\text{Motor,el}}$: <i>aufgenommene elektrische Leistung des Motors</i>	<i>in W</i>
U_{Motor}	: <i>Motorspannung</i>	<i>in V</i>
I_{Motor}	: <i>Motorstrom</i>	<i>in A</i>

$$P_{\text{Motor,mech}} = 2\pi \cdot M_{\text{Motor}} \cdot n_{\text{Motor}} \quad (\text{Gl. 12.2})$$

$P_{\text{Motor,mech}}$: <i>abgegebene mechanische Leistung des Motors</i>	<i>in W</i>
M_{Motor}	: <i>Drehmoment des Motors</i>	<i>in Nm</i>
n_{Motor}	: <i>Drehzahl des Motors</i>	<i>in 1/s</i>

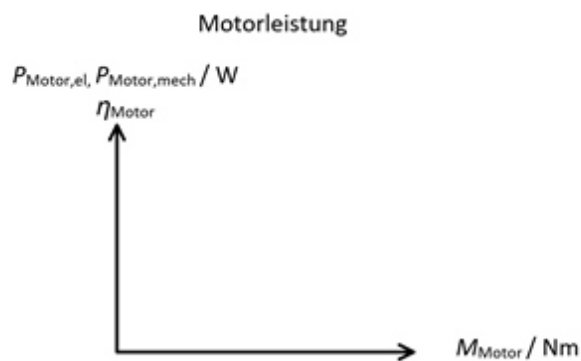


Abb. 23: Beispiel für Diagramm der Motorleistung

Nach der Berechnung der Leistung ermitteln Sie die den Wirkungsgrad des Motors μ_{Motor} .

Die Prüfergebnisse sollen in einem Dokument zusammengefasst werden (siehe Anlage: 2), speichern Sie die Datei mit dem Namen: VBxxxx_Motoren-Bremsprüfstand_PV1710_V01.docx ab. Beschreiben Sie hierbei was Sie beobachtet haben und bewerten Sie die Ergebnisse. Erklären Sie außerdem wie der Motorstrom, bzw. die Motorspannung alternativ gemessen werden kann (siehe Anlage: 1_Theorie).

Abb. 9.7: Auszug aus Laborversuch: Teilversuch 8 (S. 3)